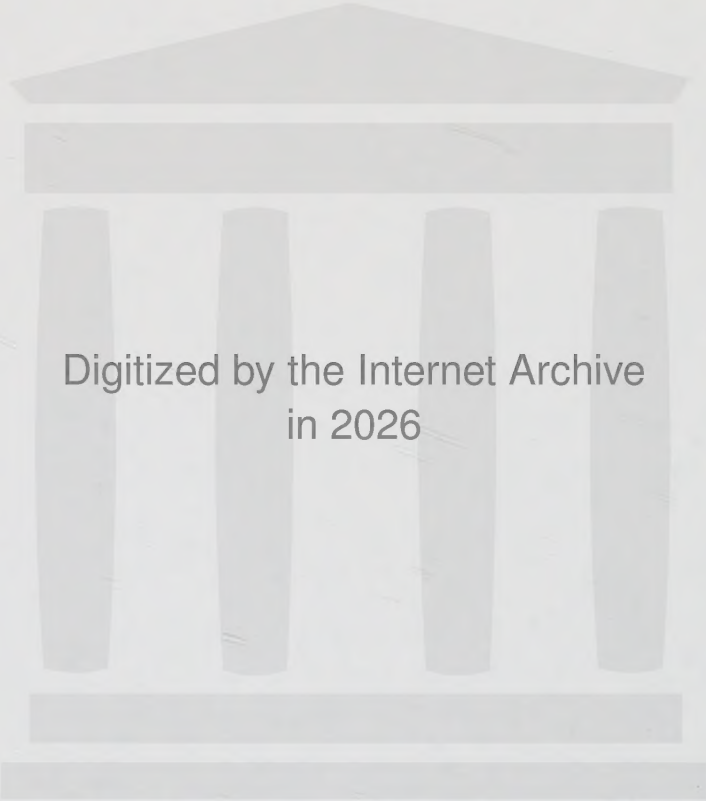


Münster 1981

RAINER SCHWARZ

**Röntgenbefunde und Histomorphometrik der
Wachstumsfuge - Veränderungen nach Blountscher
Klammerung im Kurzzeit- und Langzeitversuch**

1981



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554821_0044

Aus der Orthopädischen Klinik
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster
(Direktor: Professor Dr. med. H. H. Matthiaß)

Röntgenbefunde und Histomorphometrik der
Wachstumsfuge - Veränderungen nach Blountscher
Klammerung im Kurzzeit- und Langzeitversuch



I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin

der Fachbereiche

5 Vorklinische und Theoretische Medizin und

6 Klinische Medizin

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Vorgelegt von
Rainer Schwarz
aus Posen

1 9 8 1

Dekan: Prof. Dr. H.J. Kühle

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Matthiaß

2. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Polster

Tag der mündlichen Prüfung: 25. 11. 1981



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Blount'sche Klammerung zum Ausgleich von Beinlängendifferenzen beim Kind und Jugendlichen stellt einen kleinen orthopädischen Eingriff dar. Durch klinische und röntgenologische Kontrolluntersuchungen läßt sich der Zeitpunkt exakt bestimmen, wann eine Angleichung der Beinlängen stattgefunden hat. Zwei Fragen lassen das Operationsergebnis aber unsicher erscheinen:

1. Tritt nach der Klammerentfernung ein überschießendes Wachstum auf?
2. Wird durch die langzeitige Klammerung ein vorzeitiger Fugenschluß hervorgerufen?

Diese Fragen sollten durch unsere Untersuchungen geklärt werden. Bei 18 10 Wochen alten Schweinen wurde eine Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiafuge durchgeführt. 6 Wochen postoperativ wurden 5 Tiere getötet und Röntgen-Längenmessungen sowie histomorphometrische Fugemessungen durchgeführt. Das Wachstum war diaphysär um 0,41 cm zurückgeblieben, die Gesamtlänge der Tibia war um 0,51 cm reduziert. Die Fuge fand sich um die Hälfte höhengemindert, der Schichtaufbau war aber nicht gestört.

Bei 12 16 Wochen alten Tieren wurden nun die Blount'schen Klammern entfernt und Röntgen-Kontrollaufnahmen nach weiteren 3, 6 und 9 Wochen durchgeführt. Von 5 Tieren wurden nach 6 Wochen Kontrollzeit und von 6 Tieren nach 9 Wochen histomorphometrische Messungen durchgeführt. Es zeigte sich, daß nach der Klammerentfernung keine Wachstumsstimulierung eintrat. Die Längendifferenz-Beträge im rechts/links-Vergleich blieben gegenüber den Ausgangswerten nach 6 Wochen Versuchsdauer konstant, nach 3 Wochen hatte die Epiphysenfuge bereits wieder ihre normale Höhe erreicht und sich in sämtlichen Schichten der nicht operierten linken Kontrollseite angeglichen.

Im Langzeitversuch erfolgte bei 12 Tieren im Alter von 10 Wochen die Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiaepiphysenfuge. Es wurden Röntgenkontrollaufnahmen der Tiere nach 4 Monaten, 6 Monaten und 9 Monaten Versuchsdauer sowie anschließend in Monatsabständen, jeweils zum Zeitpunkt des Tötens angefertigt. Neben der zunehmenden Verkürzung der geklammerten Seite fand sich ein vorzeitiger Fugenschluß im Rechts-Links-Vergleich, die rechte Fuge war ein Jahr früher röntgenologisch verschlossen als die linke. Um eine Aussage darüber machen zu können, wie lange Klammern beim Kind belassen werden können, ohne daß die Fuge ihre Wachstumspotenz verliert, sind Untersuchungen vonnöten, die eine Aussage darüber gestatten, welche Wachstumsspanne beim Schwein derjenigen beim Kind entsprechend ist.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1 Einleitung	1
2 Die Wachstumsfuge	3
2 A Entwicklung der Wachstumsfuge	3
2 B Histomorphologie der Wachstumsfuge	4
2 C Ernährung der Wachstumsfuge	8
2 D Druck- und Zugkräfte an der Fuge und ihre Auswirkungen	11
2 E Verletzungsfolgen an der Fuge	13
3 Problemstellung	18
4 Eigene Untersuchungen	20
4.1 Material und Methode	20
4.1.1 Tierart und Tierhaltung	20
4.1.2 Blountsche Klammerung an der proximalen Tibiaepiphysenfuge	20
4.1.3 Narkose und OP-Technik	21
4.1.4 Untersuchungsmaterial	23
4.1.5 Untersuchungsmethodik	24
5 Eigene Ergebnisse	29
5.1 Röntgenbefunde im Kurzzeitversuch	29
5.2 Beurteilung	32
5.3 Metrische Bestimmungen am Röntgenbild nach Büchner	33
5.4 Beurteilung	34
5.5 Histomorphometrische Strukturanalyse im Kurzzeitversuch mit Ergebnissen	38
6 Ergebnisse der Langzeitversuche nach Blount	47
6.1 Röntgenbefunde	48
6.2 Längenmessungen mit dem Büchner-Meßstab	50
7 Diskussion über die Literatur der Blountschen Klammerung	52
8 Diskussion der eigenen Ergebnisse	56
9 Zusammenfassung	60

Literaturverzeichnis

63

Danksagung

74

Lebenslauf

75

1. Einleitung

Beinlängendifferenzen stellen ein wesentliches orthopädisches Problem dar. Durch angeborene Hyper- oder Hypoplasien, nach abgelaufener Poliomyelitis, nach Osteomyelitiden oder auch posttraumatisch kann es zu beträchtlichen Längendiskrepanzen der unteren Extremitäten kommen. Diese Längenunterschiede haben ganz bestimmte Konsequenzen für Statik und Mechanik. Aufgrund der Auffassung über die mechanische Genese der Arthrosis und Spondylosis deformans wird man einer Beckenfehlstellung nebst der zugehörigen statischen Skoliose mit äußerster Folgerichtigkeit und bereits im Kindesalter zu begegnen haben. Eine Therapie von Knochenverkürzungen muß eine Rehabilitation des Patienten zum Ziel haben, die apparative Hilfsmittel überflüssig macht. Der orthopädisch-chirurgische Eingriff hat somit den Charakter einer Präventivbehandlung und erlangt erhebliche Bedeutung im Hinblick auf die Validität und die Erwerbssicherheit des Individuums.

Im Mittelpunkt der operativen Therapie steht die Beeinflussung des Längenwachstums der Röhrenknochen. Dieses Längenwachstum ist ausschließlich eine Funktion der Wachstumsfugen (HALES 1727, DUHAMEL 1743). Die Wachstumsfugen sind spezifische Wachstumsorgane des kindlichen Knochens. Am Ende der Wachstumsperiode kommt es zum Fugenschluß. Bei Kindern und Jugendlichen sind operative Eingriffe an den Wachstumsfugen zur Beeinflussung des Längenwachstums angebracht. Die Behandlung sollte bis zum Verschluß der Wachstumsfugen abgeschlossen sein. Das Zuwarten bis zum Abschluß des Wachstumsalters bedeutet einen wesentlichen Zeitverlust, danach käme nur eine Verlängerungs- oder Verkürzungsosteotomie des Knochens infrage.

Um Beinlängenunterscheide auszugleichen, kann entweder bei dem längeren Knochen das Wachstum gehemmt oder bei dem kürzeren eine Beschleunigung des Längenwachstums versucht werden. Es ist darauf hinzuweisen, daß Stimulationsversuche nur geringe Effekte aufweisen und nicht exakt im voraus zu berechnen sind, so daß zur Korrektur von Beinlängenunterschieden nur die temporäre Epiphyseodese nach BLOUNT, 1944, oder die endgültige Epiphyseodese nach PHEMISTER, 1933, infrage kommt. Bei der temporären Epiphyseodese nach BLOUNT wird von der Voraussetzung ausgegangen, daß die Wachstumsfuge eine vorübergehende Ausschaltung in ihrer Funktion verträgt und das Wachstum nach der Entfernung der Klammern normal wieder aufnimmt. Angenommen wird, daß die Verschmälnerung der Wachstumsfuge als ein drohendes Zeichen vorzeitigen Fugenschlusses zu werten ist, und daß eine über längere Zeit bestehende Klammerung eine irreparable Schädigung der Wachstumsfuge verursachen kann. Aufgrund seiner Versuche hat GELBKE, 1951, festgelegt, daß die Klammern nicht länger als zwei Jahre belassen werden sollten.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 88 (Deutsche Forschungsgemeinschaft der Teratologischen Forschung und Rehabilitation Mehrfachbehinderter Kinder) befaßten wir uns mit den Auswirkungen einer temporären Epiphyseodese auf die der menschlichen ähnlichen Schweinefuge. Mit der Operation nach BLOUNT sollte geprüft werden, ob die morphologischen, histomorphometrischen und funktionellen Veränderungen, die mit einer Verschmälnerung der Fuge während der Klammerungszeit eintreten, reversibel sind. Nach der Klammerentfernung muß geprüft werden, ob möglicherweise ein Überschießendes Wachstum nach Klammerentfernung einsetzt, und ob nach langfristiger Klammerung ein vorzeitiger Fugenschluß auftritt.

2. Die Wachstumsfuge

A. Entwicklung der Wachstumsfuge

Der Ersatz des Knorpelskeletts durch Knochen beginnt in der 6. bis 7. Embryonalwoche. Aus dem Blastem, das aus undifferenzierten Mesenchymzellen besteht, entwickelt sich durch Zellvergrößerung der Vorknorpelkeim. Dieser vergrößert sich solange, bis nur noch ein Restblastem bestehen bleibt. Die Umwandlung des Vorknorpels in den Knorpel vollzieht sich durch Zellvergrößerung und Synthese der differenzierten Knorpelgrundsubstanz. Aus dem verbliebenen Restblastem entwickeln sich die perichondralen Zellen. Im Diaphysenbereich geht vom Perichondrium die Ossifikation des Skelettknorpels in Form einer diaphysären Knochenmanschette aus (BARGMANN 1967, STARCK 1975). Es kommt zu einer Vergrößerung der Knorpelzellen. Die zwischen diesen Zellen liegende Knorpelgrundsubstanz wird prämineralisiert und anschließend ossifiziert. Nach Ersatz des Knorpels durch Knochen im Diaphysenbereich schreitet der enchondrale Ossifikationsprozeß senkrecht zur Schaftachse beidseits nach metaphysär vor. Der Nachweis, daß das enchondrale Wachstum nur von den Epiphysenfugen ausgeht, wurde erbracht durch Einbohren von zwei Markierungsdrähten proximal der Wachstumsfuge. Der Abstand dieser Drähte zueinander blieb konstant, während der Abstand zu der Wachstumsfuge zunahm (GELBKE 1951). Die Wachstumsrate korrespondierender Wachstumsfugen einer rechten und linken Extremität des gleichen Individuums ist gleich (GOFF 1960, RODEGERDTS 1976). Die Höhe der Wachstumsfuge ist am größten bei jungen Individuen. Gegen Ende der Wachstumsperiode wird die Fuge immer dünner, um schließlich zu verknöchern, so daß eine Verbindung zwischen Epi- und Metaphyse entsteht (DUHAMEL 1743).

B. Histomorphologie der Wachstumsfuge

Das Längenwachstum ist hauptsächlich eine Funktion der Wachstumsfuge, die eine Knorpelplatte aus hyalinem Knorpel darstellt. Die enchondrale Ossifikation ist ähnlich bei sämtlichen Wachstumsfugen des Körpers. Es läuft darauf hinaus, daß ein hyaliner Knorpel ersetzt wird durch Ossifikation. Der Prozeß schreitet dabei von den in der Fugenmitte gelegenen Germinativzellen nach epi- bzw. metaphysär in geordneten Stadien vor, wobei die Chondrozyten die Zone des epi-physären bzw. des metaphysären Säulenknorpels durchlaufen. Viele enzymatische und biomechanische komplexe Vorgänge sind an jedem Schritt des Prozesses beteiligt. An die Wachstumsfuge schließt sich danach epi- und metaphysär die Primärspungiosa an, die durch enchondrale Verknöcherung aus dem Fugenknorpel entsteht (BARGMANN 1964, HANSSON 1967). Die Wachstumsfuge unterliegt einer strengen Gliederung in verschiedene Zonen, sie wird in dieser Arbeit eingeteilt wie bei RODEGERDTS 1976. In der Germinativzellzone liegen die Zellen einzeln oder paarig in relativ kleinen Chondronen. Die Chondrone sind eingebettet in Knorpelgrundsubstanz, die im Vergleich zum Chondronvolumen überwiegt (TRUETA und MORGAN 1960, TRUETA und LITTLE 1960, HALL 1965). Dieses Verhältnis zwischen Chondronen und Grundsubstanz ändert sich metaphysenwärts, als nächste Schicht findet sich hier die metaphysäre Proliferationszellzone. Die Zellen liegen hier zu zweien oder einem Vielfachen davon zusammen, weiter in Richtung auf die Metaphyse zu platten sich die Zellen immer mehr ab und ordnen sich in strenger Regelmäßigkeit zu Palisaden (Palisadenzellzone, TRUETA und MORGAN 1960). Noch weiter metaphysenwärts beginnen sich die Chondrone aus dem engen Verband zu lösen und zu vergrößern, sie hypertrophieren, so daß diese Zone Hypertrophiezellzone genannt wird (LACROIX 1949, TRUETA und MORGAN 1960, TRUETA

Abb. I:

Epiphysäre
Primarspongiosa

Epiphysäre
Säulen-
knorpel-
zellzone

Epiphys. br-
öffnungszell-
zone

Epiphys. Proli-
ferationszell-
zone

Germinativzellzone
(zentrales Gefäß)

Metaphysäre
Proliferations-
zellzone

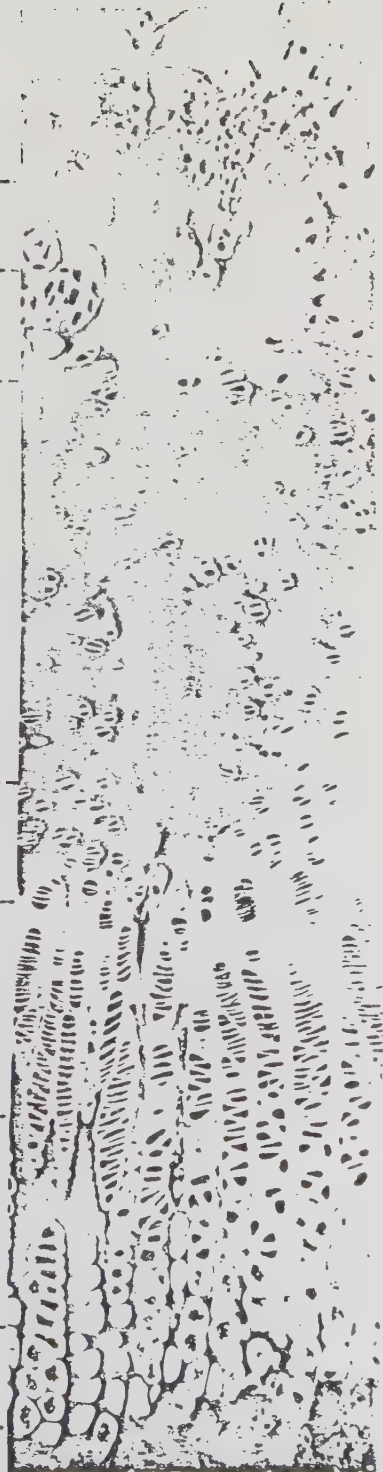
Palisadenzell-
zone

Metaphysäre
Säulen-
knorpel-
zellzone

Hypertrophie-
zellzone

Metaphysäre
Eröffnungszell-
zone

Metaphysäre
Primarspongiosa



und LITTLE 1960). Zuletzt blähen sie sich noch weiter auf, es findet Eröffnung der Chondrone auf breiter Front statt (metaphysäre Eröffnungszellzone, BARGMANN 1964). Die metaphysären Säulen werden durch Longitudinalsepten aus Knochengrundsubstanz getrennt. Zwischen den einzelnen Chondronen einer Säule befinden sich Transversalsepten (WEINMANN und SICHER 1955, BLOOM und FAWCETT 1962). An die metaphysäre Eröffnungszellzone schließt sich die metaphysäre Primär-spongiosa an. Die Transversalsepten werden aufgelöst. Randständig an den langsam sich mineralisierenden Longitudinalsepten, aus denen die Primärspongiosa hervorgeht (HAM und LIESON 1965), finden sofort nach der Eröffnung Resorption von Knorpelmatrix und Osteosynthese und Mineralisation statt (ROBINSON und CAMERON 1956). Mit zunehmendem Alter der Spongiosabälkchen wird durch die metaphysäre Ossifikation die Menge der in ihnen enthaltenden Knorpelmatrix reduziert (ROST 1963). Eine entsprechende Zoneneinteilung wird von SIFFERT 1966 angegeben. Er unterteilt die Wachstumsfuge in drei Hauptzonen: 1. die Wachstumszone, 2. die Zone der Knorpeltransformation und 3. die Zone der Ossifikation. Das Kernstück der Wachstumszone ist die Germinativ- und Proliferationszone, die im Anfangsstadium eine breite Zellzone darstellt und relativ glykogenarm ist. Sie produziert hyaline Interzellulärsubstanz, die nur wenige Kollagenfasern enthält. Das interstitielle Wachstum geht von dieser Schicht aus und stellt den einzigen Mechanismus der Ausbreitung innerhalb der Wachstumsfuge dar. Die Wachstumsrate hängt dabei vom Alter des Individuums und dem dazugehörigen Wachstumspotential der jeweiligen Wachstumsfuge ab. Das Wachstum wird beeinflusst durch ernährende und hormonelle Faktoren, die allgemeine Gesundheit und Krankheiten im Gesamtkörper. Die Wachstumszone wird in zwei Hauptschichten unterteilt, die Germini-

nativzellschicht, die bereits besteht, bevor eine Zellteilung beginnt und die Proliferationsschicht, in der die Zellteilung und Bildung der interzellularen Matrix durchgeführt wird. Darum sind Umstände, die die Physiologie der Germinativzellzone stören, von so tiefschneidender Bedeutung, daß das Wachstum selbst betroffen ist. Die zweite Zone, die Zone der kartilaginären Transformation, wird dargestellt durch die Palisadenzellschicht und Hypertrophiezellschicht. Die Interzellulärsubstanz nimmt ab und scheint komprimiert durch die Ausdehnung der vergrößerten Zellen. Es bilden sich Kollagenfasern in der Matrix und diese trennen die Palisadenzellen voneinander. Die Zellhypertrophie und Kalzifikation der Grundsubstanz sind die am besten erkennbaren Veränderungen, die in der Zone der kartilaginären Transformation ablaufen. Die Kalzifikation ist wesentlich und muß vorausgesetzt werden, bevor die Osteogenese ablaufen kann. Es bilden sich sogenannte Zentren, in denen Kalziumphosphationen sich niederschlagen und als Zellnester sich darstellen, an denen sich Apatitkristalle ablagern können. Die dritte Schicht ist dann die Zone der Ossifikation. Gefäßschlingen, die als Endgefäße der metaphysären Durchblutung sich darstellen, brechen in den Knochen ein, nachdem er kalzifiziert ist und durchdringen die degenerativen Zellen. Diese werden durch Makrophagen abgebaut und Osteoblasten, die sich von multipotenten perivaskulären Zellen ableiten, bilden die Primärspongiosa. Die Ossifikationsrate ist von der metaphysären Durchblutung abhängig.

Auf epiphysärer Seite ist die Differenzierung der Zellen von der Germinativzellzone bis hin zur Eröffnungszellzone nicht so ausgeprägt. Es findet sich ein recht abrupter Übergang von der epiphysären Proliferationszellzone bis zur epiphysären Eröffnungszellzone. Bei

älteren Fugen kann der epiphysäre Säulenknorpel ganz fehlen (TRUETA und LITTLE 1960, TRUETA und MORGAN 1960, RODEGERDTS 1976). Bei älteren Fugen gleicht die epiphysäre Primärspungiosa einer terminalen Knochenplatte (LACROIX 1949, TRUETA und MORGAN 1960).

C. Ernährung der Wachstumsfuge

Für die Ernährung der Wachstumsfuge sind drei Gefäßsysteme verantwortlich: ein epiphysäres, ein metaphysäres und ein perichondrales (BRODIN 1955, MORGAN 1959, TRUETA und MORGAN 1960, HALL 1965).

Die epiphysären Gefäße bilden ein so enges anastomosierendes Gefäßnetz, daß im Bereich der epiphysären Knorpelverknöcherungsfront eine Gefäßplatte entsteht. Die aus ihr entspringenden Gefäße führen bis zur metaphysären Säulenknorpelstruktur. Sie versorgen die Knorpelzellen in der epiphysären Eröffnungs- und Proliferationszellzone, der Germinativzellzone und wahrscheinlich auch der Säulenzellschicht (TRUETA und MORGAN 1960, TRUETA und AMATO 1960, HAM und LIE-SON 1965, HALL 1965). Die Unterbrechung der Durchblutung, die für die Germinativzellschicht in der Wachstumszone verantwortlich ist, verursacht ein Fehlen der Chondrogenese und führt zum vollständigen Wachstumsstop.

Das metaphysäre Gefäßsystem erhält seinen Zufluß aus der Arteria nutritia und verläuft bis zur enchondralen Ossifikationsfront (TRUETA und MORGAN 1960, TRUETA und AMATO 1960). Die Gefäße teilen sich in immer kleinere Arteriolen und bilden Endarterien. Sie anastomosieren nicht miteinander. Das metaphysäre Gefäßsystem hat keine Aufgaben für die Fugenernährung und ist nur für die metaphysäre enchondrale

Ossifikation wichtig (TRUETA und MORGAN 1960, SIFFERT 1966).

Das perichondrale Gefäßsystem gelangt über die Peripherie an die Wachstumsfuge. Es ist für die Ernährung der naheam Perichondrium liegenden Teile der Fuge verantwortlich (BRODIN 1955, MORGAN 1959, TRUETA und AMATO 1960). TRUETA et al 1960, 61, 64, nahmen an, daß die Durchblutung an der Ossifikationsfront entscheidend für die Größe der Wachstumsrate einer Fuge ist.

Operative Eingriffe an der Wachstumsfuge bei Stimulations- bzw. Transplantationsversuchen der Fuge führen oft zu Unterbrechungen der Gefäßversorgung. Nach solchen Versorgungsunterbrechungen laufen ausgeprägte Reorganisationsvorgänge des Gefäßsystems und Regenerationsvorgänge des Fugenknorpels ab (CIUGUDEAN 1974). Daß für die Knochenbildung die Gefäße der Ossifikationszone im Metaphysenbereich die Hauptrolle spielen, konnte schon VOGT 1878 mit seinem berühmten Goldblattversuch nachweisen. Dieses Blatt, zwischen Epiphyse und Diaphyse gelegt, verhinderte das Einsprossen der metaphysären Gefäße. Die Folge war ein starkes Zurückbleiben des Knochenlängenwachstums. Nach metaphysärer Versorgungsunterbrechung zeigte sich eine deutliche Erweiterung der epiphysären, in die Fuge eindringende Gefäße bei gleichzeitiger starker Verdickung der gesamten Fuge (YABSLEY und HARRIS 1965). Für diese vorübergehende Verdickung ist eine starke Vermehrung und Vergrößerung des metaphysären Säulenknorpels verantwortlich (TRUETA und AMATO 1960, YABSLEY und HARRIS 1965, HANSSON 1967). Auffällig ist bei allen Autoren die fehlende Degeneration der Hypertrophiezellen. Zwischen dem 4. und 7. postoperativen Tag kommt es zur Revaskularisation der enchondralen Ossifikationsfront, so daß am 14. Tag wieder normale Ossifikation statt-

findet (HARRIS, MARTIN und TILE 1965, TRUETA und AMATO 1960). Sie fanden eine vollkommene Regeneration nach metaphysärer Blutunterbrechung innerhalb von vier Tagen bei Kaninchen. Bei Aufhebung der Versorgungsunterbrechung kam es sehr schnell zur Ossifikation und vermehrtem Abbau der Hypertrophiezellen, so daß bald wieder die reguläre Zell- und Fugenhöhe erreicht wurde. Wesentlich ist, daß das Wachstum nicht nur von der Blutversorgung abhängig ist, sondern auch von der Möglichkeit der Knorpelzellen, eine Grundsubstanz zu bilden, die in der Lage ist, durch Aufnahme von Apatitkristallen die Voraussetzung zur Ossifikation zu bilden.

TRUETA und AMATO 1960 sahen bei epiphysärer Durchblutungsunterbrechung einen schnellen Verschluß der Epiphysenfuge. Sie wiesen damit nach, daß für das eigentliche Wachstum entscheidend die epiphysäre Durchblutung ist, die ja auf die Proliferationszellschicht und Germinativzellschicht einwirkt. Die Auswirkungen einer nur kurzen metaphysären und epiphysären Versorgungsunterbrechung wurden durch Autotransplantation der Wachstumsfugen untersucht. HARRIS, MARTIN und TILE 1965 fanden, daß in den ersten Tagen die Fuge mit einem bemerkenswerten Dickenanstieg reagiert. Die Germinativzellzone zeigt das Doppelte der normalen Dicke. Der Rest der Höhenzunahme geschieht in der Hypertrophiezellzone, weil diese Zellen durch die fehlende Gefäßinvasion von metaphysärer Seite nicht degenerieren. Auf epiphysärer Seite hat das Gefäßsystem nach 48 Stunden Anschluß gefunden, nach 7 Tagen ist der Durchbau abgeschlossen. Ähnliche Ergebnisse fanden auch FARINE 1966, HARRIS 1965 und HEIKEL 1960. Diese Untersuchungen wurden an in Höhe und Durchmesser recht kleinen Fugen wie Ratten- und Kaninchenfugen durchgeführt. RODEGERDTS 1976 verwandte die voluminösere Schweinefuge und untersuchte

die Auswirkungen einer fugennahen Doppelosteotomie im Zeitraum von 6, 12 und 18 Wochen nach dem Eingriff. Eine Verdickung der Germinativzellzone mit der dadurch hervorgerufenen Verdickung der gesamten Fuge war für alle Untersuchungszeiträume signifikant. Die Erhöhung blieb parallel zur erhöhten Wachstumsrate bis 24 Wochen nach der Operation erhalten. Die Säulenknorpelhöhen wiesen keine operationsbedingten Differenzen auf.

D. Druck- und Zugkräfte an der Fuge und ihre Auswirkungen

Neben der morphologischen Einteilung des Wachstumsknorpels muß unterschieden werden zwischen den verschiedenen Formen der Beanspruchung auf Druck- und Zugbelastung. Die sogenannten Traktionsfugen finden sich apophysär und liegen nicht im tragenden Teil des Knochens. Inwieweit sich die muskulär bedingten Zugkräfte im Bereich einer solchen Fuge als Druckkräfte auswirken, muß sich aus einer resultierenden Kraft ergeben, die dadurch entsteht, daß gleichfalls in die Apophyse einstrahlende Gewebestrukturen einen Gegenhalt bilden. Eine alleinige Zugbelastung ist aus rein mechanischen Gründen nicht möglich (Distractionsepiphyseolyse MORSCHER 1953, JANI 1972).

Zwischen dem biologischen Grundgesetz von ARNDT-SCHULZ, wonach zu geringe Reize wirkungslos sind, starke und mittelstarke die Lebenstätigkeit der Zellen anregen, starke und überstarke Reize sie schädigen oder vernichten und der HÜTHER-VOLKMANN'schen Lehre, wonach starke Druckbelastung das Knochenwachstum hemmt, Entlastung es fördert, und dem Hinweis von WOLF, daß sowohl Druck als auch Zug

zum Aufbau von Knochengewebe und zu einer Wachstumszunahme führen, bestehen scheinbare Widersprüche, die darauf zurückzuführen sind, daß einmal wachsender Knochen, andererseits bereits Knochen von ausgewachsenen Individuen untersucht wurde. Außerdem wurden Knochenaufbau und Knochenwachstum als identische Prozesse betrachtet. Nach PAUWELS 1940 folgt der wachsende Knochen folgenden Gesetzen: 1. die Epiphyse versucht, sich senkrecht zu der auf sie einwirkenden Druckresultante einzustellen, 2. einseitige pathologische Drucksteigerung in physiologischen Grenzen ruft entsprechende Wachstumssteigerung hervor. Soviel scheint heute erwiesen, daß zum normalen Wachstum der Röhrenknochen ein physiologischer Reiz in Form von Wechsel zwischen Druck verschiedener Stärke, aber innerhalb bestimmter Grenzen gehört. Überstarke Druckkräfte hemmen das Wachstum oder unterbrechen es vollständig. GELBKE untersuchte 1951 den Einfluß von Druck- und Zugkräften auf den wachsenden Knochen im Tierexperiment. Es wurde zunächst der Einfluß des Druckes auf die Wachstumsfuge bei Hunden untersucht. Ein Stahldraht wurde in sagittaler Richtung um die Epiphysenfuge des Femur gelegt, sowohl Röntgenmessungen als auch histologische Präparate bestätigten eine Abnahme des Längenwachstums. Er stellte fest, daß starker Druck zur Hemmung des Längenwachstums führt, eine Fugenverbreiterung konnte nicht festgestellt werden. Er bewies, daß der Knochen die Höhenabnahme durch Breitenausdehnung nicht kompensiert. Es ist eindeutig, daß starke Druckeinwirkungen die Proliferation der Knorpelzellen hemmen und damit das Längenwachstum bremsen. In einer zweiten Versuchsreihe untersuchte er die Auswirkung von Zugkräften, die an Apophysen angewendet wurden. Nach fünf Wochen zeigten

sich in den Röntgenbildern zystische Veränderungen in der Metaphyse, nach 15 Wochen war die Epiphysenlinie knöchern durchbaut. Die Zugkraft vergrößerte das Längenwachstum der Apophyse nicht, starker und dauerhafter Zug führt also nicht zur Zunahme des enchondralen Knochenwachstums. Im Gegenteil resultiert nahezu der gleiche Effekt wie bei Druckeinwirkung. Bei zu starker Zugeinwirkung kommt es zur Fugensprengung mit Wachstumsverlust. Auch HAAS 1945 hatte festgestellt, daß eine Zugwirkung auf die distale Femurepiphysenfuge bei Kaninchen, ausgelöst durch zunehmende Federspannung, eine Wachstumsstimulierung nicht hervorruft.

E. Verletzungsfolgen an der Fuge

Epiphysenlösungen traumatischer Art werden nach BERGENFELDT in 6 Gruppen unterteilt. 38 % der Fälle betreffen die Gruppe 1 mit reinen Epiphysenlösungen sowie die Gruppe 2 mit Epiphysenlösungen und nachweisbarem Lamellensystem ohne Fraktur. 50 % betreffen die Gruppe 3 der Epiphysenlösung, bei denen neben der Lösung der Epiphyse noch eine Diaphysenfraktur besteht. Die 4. Gruppe bildet die Epiphysenlösung mit Epiphysenfraktur in 7 %, die 5. Gruppe betrifft mit 4 % eine Epiphysenlösung mit Fraktur der Dia- und Epiphyse. Die 6. Gruppe bilden die juxta epiphysären Frakturen. BERGENFELDT stellt fest, daß insgesamt nur 5 % dieser Epiphysenverletzungen zur Wachstumshemmung führen. Dafür sind folgende Umstände anzuführen: 1. direkte Verletzung des proliferierenden Knorpels, 2. vollständige Dislokation der gelösten Epiphyse, wobei die Bruchflächen jegliche Verbindung miteinander verloren haben, 3. mangelhafte Ernährung der Epiphysenfuge infolge hochgradiger Gefäßverletzung, 4. Infektion bei offenen Frakturen.

Die dauernde Verkürzung nach traumatischer Epiphysenlösung ist beim Menschen verhältnismäßig selten, die Ursache sieht BERGENFELDT darin, daß sehr viele Epiphysenlösungen wahrscheinlich gar nicht die Epiphysenfuge berühren, sondern im metaphysären Ossifikationsbereich stattfinden, und daß bei Menschen der Fugenknorpel eine größere Widerstandskraft zu haben scheint, als dies bei einem Versuchstier der Fall ist. Epiphysenwachstumsstörungen wurden 1957 auch von TITZE beschrieben, hervorgerufen durch Extensionsdrähte und Nägel. Er wies auf die Gefahren der Oberschenkelmarknagelung im Kindesalter hin und machte auf die richtige Lage des Extensionsdrahtes aufmerksam, dieser sollte am Oberschenkel 5 bis 6 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes, am Schienbeinkopf 6 bis 7 cm unterhalb desselben etwa durch die Mitte des Knochens gelegt werden, also etwas weiter distal und dorsal als beim Erwachsenen. Er stellte fest, daß bei zu naher Lage des Extensionsdrahtes an der Fuge eine Fugenschädigung gesetzt wurde, die am Oberschenkel eine Valgusverbiegung nach entsprechender Schädigung der Wachstumsfuge lateral bedingte und am Kniegelenk ein Genu recurvatum, da an der Tibia zumeist der nach vorne distal umbiegende ventrale Teil der Fuge geschädigt wurde. Im Tierversuch setzten GELBKE und EBERT 1953 an Hunde- und Kaninchenfugen sagittale Meißelfrakturen, die knöchern ausheilten und eine Verbindungsbrücke zwischen Epi- und Metaphyse bildeten. Längenwachstumsstörungen oder Deformitäten traten allerdings nicht auf, da es sich nur um ganz schmale Fugenverletzungen handelte und die Wachstumskraft der Fuge die Knochenbrücke sprengen konnte, so daß das Wachstum weiter voranschreiten konnte. In einer zweiten Versuchsserie fräst sie dann Defekte von 3 mm Breite sagittal zur Wachstumsfuge, auch diese heilten knöchern aus. Durch die breiteren Defekte kam es aber zu Längenwachstumsstörungen, hier konnte die Brückenbildung durch die Wachstumsfugen-

kraft nicht gesprengt werden. Auch HAAS 1950 fand bei seinen Versuchen (kreuzweises Einschlagen von Nägeln durch die Epiphysenwachstumsfuge), daß eine Verletzung der Epiphysenfuge keine oder nur wenig Veränderungen im Wachstum hervorruft, wenn die Nägel sofort wieder entfernt werden. Blieben diese aber liegen, so kam es zu einem frühzeitigen Schluß der Fuge und zur Wachstums hemmung, wahrscheinlich bedingt durch mechanischen Druck. FRIEDENBERG 1957 untersuchte die Reaktion des Knochens bei Verlust eines Teils der Epiphyse. Bei 6 Wochen alten Kaninchen wurde die Epiphysenfuge lateral kürettiert. Bei den Tieren entstand eine Valgusdeformität. Die histologische Untersuchung zeigte die mediale Wachstumsfuge nicht tangiert. Der verbliebene Rest der lateralen Fuge zeigte zwei Reaktionstypen. In einigen Fällen war die Verletzung lateral nicht sehr ausgedehnt, es entstanden zwar Knochenbrücken, aber das Wachstum ging trotzdem weiter. Dies entspricht den Untersuchungen von GELBKE und EBERT, daß die Wachstumsfuge genügend Kraft besitzt, um diese isolierten Knochenbrücken aufzusprengen. Die Tiere, bei denen die laterale Fuge vollständig ausgeräumt war, zeigten eine tiefgehende Veränderung des Wachstums. Die Wachstumsplatte war auch im Zentrum stark verdünnt und die Knorpelreifung und das Knochenwachstum waren unregelmäßig und stark verzögert. Alle Tiere zeigten eine Verkürzung und Valgusdeformität. Weitere Untersuchungen über Fugenverletzungen wurden von SELYE durchgeführt, der bei 12 bis 15 Tage alten Ratten feststellte, daß sich die Wachstumsfuge völlig neu aufbaute nach ihrer Entfernung. Er stellte sich vor, daß von dem umgebenden undifferenzierten Gewebe sich eine neue Wachstumsfuge ausgebildet hat. Dieses Regenerationspotential besteht aber sicherlich nur bei sehr jungen Tieren, denn wenn das Experiment bei älteren Tieren wiederholt wurde, bildete sich kei-

ne neue Epiphysenfuge. Ein ähnliches Experiment wurde von HELLSTADIUS durchgeführt, der an der Ulna bei 2 Monate alten Kaninchen die Wachstumsfuge entfernte, und zwar Epiphyse und Epiphysenfuge, während die Metaphyse nicht tangiert wurde. Bei den Kaninchen entwickelte sich auch eine neue Epiphyse und das Wachstum ging weiter voran. Bei einigen Kaninchen wurde auch die Metaphyse mit entfernt, hier entwickelte sich dann keine neue Epiphyse, aber ein begrenztes Wachstum ging weiter vor sich. Teilweise Destruktion der Wachstumsfuge wurde von LANGENSKIÖLD beschrieben. Es wurden Röntgenbestrahlungen der Fuge durchgeführt und einzelne Bezirke der Fuge zerstört. Schmale Fugendefekte wurden ersetzt durch das umliegende gesunde Gewebe, größere Areale einer zentralen Destruktion verursachten Deformitäten. ZOPPI führte Versuche an jungen Kaninchen durch und löste die Epiphyse von der Diaphyse. Er war der Ansicht, daß die Trennung im Bereich der hypertrophischen Knorpelzellen verlief. Die Heilung erfolgte durch Knorpelneubildung und bereits nach 10 Tagen ließen sich mikroskopisch keine Veränderungen mehr wahrnehmen. RIEDINGER 1909 verletzte ebenfalls an der Grenze zwischen Metaphyse und Fugenknorpel die Ulnaepiphyse junger Kaninchen. Die histologischen Untersuchungen ergaben, daß nach anfänglicher Degeneration des der Verletzung anliegenden Fugenknorpels und nach Resorption der traumatisch zerstörten Teile, sich die Wachstumszonen wieder zusammenfanden. Die Störung der Ossifikation während der Heilung wird für die dabei auftretende Verkürzung verantwortlich gemacht. Aus der Literaturübersicht läßt sich zusammenfassen, daß Verletzungen an jungen Wachstumsfugen aufgrund der größeren Regenerationskraft geringere Schäden verursachen als an älteren Fugen. Verletzungen im metaphysären Bereich in Höhe der Hypertrophiezellen verursachen nur vorübergehende Wachstumsverzögerungen, bereits nach 10 bis 14 Tagen sind

im Tierversuch die Fugen wieder in ihrer Struktur aufgebaut und das Wachstum nicht weiter verzögert. Bei Verletzung in Höhe der Keimschicht kommt es zur Zerstörung der Fuge mit Beendigung des Längenwachstums. Sagittale Verletzungen an den Fugen bewirken entweder durch Knochenbrückenbildung zwischen Epi- und Metaphyse einen Wachstumsstop oder aber sind in ihrer Ausdehnung so geringfügig, daß die Wachstumskraft der Fuge ausreicht, die Brückenbildung aufzusprengen.

Problemstellung

BLOUNT diskutierte über die Hemmung des Wachstums und die Wachstumsstimulation, Beinlängendifferenzen auszugleichen. Er empfahl eine Epiphysenklammerung während des Wachstums. Wenn ein vollständiger Ausgleich nicht mehr erzielt werden kann, plädiert er für die Hemister-Operation. Er stellte fest, daß das Wachstum nach der Entfernung der Klammern wieder aufgenommen wird. Eine geklammerte Fuge kann im Röntgenbild noch so dünn erscheinen, sie kann aber bereits 6 Wochen nach Entfernung der Klammern die normale Dicke wieder erreicht haben. Er meint, daß ein kurzfristiges überschießendes Wachstum nach der Entfernung der Klammern auftritt. Ebenso wie GELBKE 1951 ist er der Ansicht, daß die Klammern nicht länger als 2 Jahre belassen werden sollten, da sonst mit einem vorzeitigen Fugenschluß zu rechnen ist. Auch HAAS stellte sich die Frage, ob ein Verlust in der relativen Wachstumsaktivität mit der normalen Wachstumsrate der anderen Beinseite festzustellen ist, wenn die Wachstumsfuge vorübergehend gehemmt wird. Er stellte sich des weiteren die Frage, ob ein vorzeitiger Fugenschluß auftritt, hervorgerufen durch die vorübergehende, mechanisch bedingte Wachstumsbremsung. Er führte das Experiment an jungen Hunden durch und konnte durch Klammerung von Wachstumsfugen der Tibia, des Femurs und des Radius in jedem Falle eine Wachstumsverzögerung nachweisen. Bei seinen Versuchen wurde jeweils die distale Wachstumsfuge geklammert, die Wachstumsrate der proximalen Fuge war größer als man normalerweise erwarten würde. Er leitete daraus die Möglichkeit ab, daß ein kompensatorisches Mehrwachstum der nicht geklammerten Wachstumsfuge der gleichen Seite auftritt. Ähnliche Ergebnisse wurden von RODEGERDTS 1976 festgestellt, daß nämlich die nicht operierte Wachstumsfuge des gleichen Knochens ein vermehrtes

Wachstums aufweist, bedingt durch das Operations-trauma und die dadurch bedingte Mehrdurchblutung. HAAS fand weiter heraus, daß sich die Wachstums-rate nach Entfernung der Klammern zwar erhöhte, aber nicht die normale Wachstumsrate des gesunden Beines erreichte. Er schloß daraus, daß möglicherweise eine Verletzung der Wachstumsfuge beim Entfernen der Klammern eingetreten sei, und zum anderen wäre auch eine Zirkulationsstörung möglich, die die Funktion der Wachstumsfuge behindert. Zwei Fragen läßt HAAS offen: 1. ob die Wachstumsrate nach Entfernung der Klammern zunimmt. In seinen Versuchen hatte er zwar in einigen Fällen einen Hinweis dafür, die Wachstumsrate der normalen Seite wurde aber in allen Fällen nicht erreicht. 2. die Frage, ob ein vorzeitiger Wachstumsfugenschluß nach der Klammerung auftritt. Um hier Aussagen machen zu können, empfiehlt er Versuche an Tieren, deren Wachstumszeit länger ist als diejenige des Hundes von nur 9 Monaten.

Diese beiden noch offenen Fragen sollten durch unsere Versuchsanordnung geklärt werden. Die Versuche wurden an Schweinen durchgeführt, deren Wachstumsfugen länger als zwei Jahre offen bleiben. Im Langzeitversuch wurde nach BLOUNT'scher Klammerung untersucht, ob ein vorzeitiger Fugenschluß eintritt, im Kurzzeitversuch wurde untersucht, ob nach primärer Klammerung und sekundärer Klammerentfernung ein Catch-up Wachstum auftritt, so daß sich die durch BLOUNT'sche Klammerung bedingte Verkürzung eines Knochens teilweise wieder aufhebt.

Eigene Untersuchungen

1. Material und Methode

1.1. Tierart

Als Versuchstier wurde das deutsche Landschwein aus einer standardisierten, hybriden, anerkannten Herdbuchzucht verwandt (Züchter J. Sommer, Altenberge). Ausgewählt wurde das Schwein, da 1. die Größenverhältnisse (Durchmesser und Höhe) der Wachstumsfugen parallele Untersuchungen ermöglichen, 2. die morphologische Struktur der proximalen Tibiaepiphysenfugen des Schweines der Morphologie menschlicher Tibiaepiphysen weitgehend ähnelt, 3. die Wachstumsfugen bei Schweinen länger als zwei Jahre offen bleiben, so daß im Langzeitversuch eine längere Beobachtungszeit möglich ist, als bei anderen Tieren, wie Kaninchen, Ratten und Hunden.

Tierhaltung

Die Ferkel wurden mit 5 Wochen von der Mutter abgenommen und auf standardisiertes Ferkelmastfutter I der Firma Höveler umgesetzt. Die Umstellung auf Ferkelmastfutter II erfolgte mit 12 Wochen. Fütterung zweimal täglich mit automatischer Tränke. Die Tiere wurden zu dritt in einer Box mit Betonboden auf einer hölzernen Liegepritsche gehalten. Die Raumtemperatur lag gleichbleibend bei 20 Grad.

1.2. BLOUNT'sche Klammerung an der proximalen Tibiaepiphysenfuge

Die Tiere wurden stets an der rechten hinteren Extremität operiert. Es wurden sowohl auf der

Medial- als auch Lateralseite der Fuge zwei BLOUNT'sche Klammern implantiert und die Wirkung sowohl im Kurzzeit- als auch Langzeitversuch unversucht. Im Kurzzeitversuch wurde außerdem nach Klammerentfernung festgestellt, ob sich eine Wachstumsbeschleunigung zeigt oder ob sich das Wachstum der nicht operierten Seite lediglich angleicht.

Ausgewählt wurde die proximale Tibiaepiphysenfuge, weil 1. es sich um eine relativ hohe Fuge mit deutlicher histologischer Gliederung handelt, 2. das operative Vorgehen relativ einfach ist, wegen des leichten Zugangsweges. Die Operationszeit kann kurz gehalten werden, 3. das Längenwachstum des Beines nach BOLDWIN und HETSCHER zu 67 % durch die distale Femur- und die proximale Tibiaepiphyse erfolgt. Für den einzelnen Knochen entfallen 70 % auf die untere Wachstumsfuge des Femur und auf die obere Tibiaepiphysenfuge 56 %. Daher interessieren in therapeutischer Hinsicht eigentlich nur die Epiphysenfugen des Kniegelenkes, 4. die Fuge eine ausreichend hohe Wachstumspotenz besitzt.

1.3. Narkose

Nach Vorspritzen von 0,2 ml Atropin wurde die Narkose mit 7 ml 10 %igen Inaktin eingeleitet. Während der Dauer der Operation Infusion mit physiologischer Kochsalzlösung. Die Narkose konnte nach Bedarf verlängert werden.

Operationstechnik

Nach Rasur, Codan-Desinfektion des Operationsgebietes und steriler Abdeckung wurde die Haut zunächst an der Medialseite der Tibia auf einer

Ausdehnung von etwa 3 cm längs inzidiert, die Schnittführung erfolgte von dorsal proximal nach ventral distal. Die tiefe Fascie wurde am vorderen Rand der Sartoriussehne durchtrennt und das Seitenband nach dorsal weggehalten. Durch eine Längsinzision direkt vor diesem Band wurde die Epiphysenfuge freigelegt, die ungefähr 1 1/2 cm distal der Gelenkfläche der Tibia gelegen ist. Es wurde dann die erste Klammer unter Bildwandler-Kontrolle über der Epiphysenfuge so eingeschlagen, daß der die Fuge proximal überbrückende Anteil größer war als der distale. Somit war gewährleistet, daß die Klammern im Epiphysenbereich besonders fest verankert lagen. Anschließend erfolgte in gleicher Weise die Implantation der zweiten Klammer, beide Klammern lagen exakt an der Seite, eine Verschiebung nach vorn oder hinten wurde vermieden, damit kein Genu ante- bzw. retrocurvatum entstehen konnte. Durch die Längsinzision des Periostes wurde ein Herausrutschen der Klammern verhindert, die Klammern wurden aber nicht unterhalb des Periostes gelegt, da ihre Entfernung sonst sehr große Schwierigkeiten bereiten kann. Anschließend erfolgte Schnittführung an der Lateralseite der Tibia, ebenfalls schräg von proximal dorsal nach distal ventral verlaufend. Nach Darstellung des Nervus peroneus wurde dieser mit einem Vesselloop nach dorsal weggehalten.

Dann wurde die laterale Fläche der proximalen Tibia dargestellt, indem der Ursprung der Extensorenmuskulatur von dem Knochen abgeschoben wurde. Es wurden nun in gleicher Weise wie auf der Medialseite zwei Blount'sche Klammern implantiert und ihr richtiger Sitz durch Bildwandlerkontrolle festgestellt. Es wurden jeweils zwei Klammern als eine Einheit verwendet, sie wurden unter Beachtung des welligen Verlaufes der Wachstumsfuge implantiert. Es wurden Klammern von gleicher Größe aus

Vitallium verwendet. Die Querbranchen sind $3/4$ eines Inchs lang, die Spangen $5/8$ eines Inchs. Schichtweiser Wundverschluß mit Catgut. Die Hautnaht erfolgte mit polyphilem, atraumatischem Suturaamid. Nach Anlegen eines sterilen Wundverbandes wurde zur Kontrolle des Operationsergebnisses und zur primären Längenbestimmung ein Röntgenbild mit dem Büchner-Meßstab angefertigt.

1.4. Untersuchungsmaterial

Es wurden das Wachstum und die proximale Tibiaepiphysenfuge von insgesamt 30 Tieren untersucht. In der ersten Versuchsserie wurde bei 18 10 Wochen alten Tieren eine Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiafuge durchgeführt. Das Lebendgewicht lag zwischen 12 und 15 kg. 6 Wochen postoperativ wurden 5 Tiere getötet, ein Tier war nach der Operation an Sepsis verstorben. Es wurden Röntgenkontrollaufnahmen angefertigt zur Längenbestimmung der Extremitäten, des weiteren histologische Präparate zur Beurteilung der Fugenveränderungen.

In der zweiten Versuchsserie wurden nun bei den übrigen 12 Tieren die Blount'schen Klammern entfernt, nach 6 Wochen wurden wiederum 5 Tiere getötet, 1 Tier war nach dem Röntgen an Herzversagen verstorben. Nach weiteren 3 Wochen wurden dann die letzten 6 Schweine getötet und wiederum Röntgenkontrollaufnahmen sowie histologische Präparate angefertigt.

Im Langzeitversuch wurde bei 12 Tieren im Alter von 10 Wochen eine Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiaepiphysenfuge durchgeführt, 1 Tier verstarb unter der Operation. Nach 4, 6 und 9 Monaten wurden Röntgenkontrollaufnahmen mit Büchner-Meßstab angefertigt, histologische Präparate konnten nicht gewonnen werden, da eine Blount'sche Klammerentfernung nach dieser langen Versuchszeit ohne Fugenzerstörung nicht möglich war.

1.5. Untersuchungsmethodik

Nach dem Töten der Tiere erfolgte eine erneute Röntgenkontrolle der abgetrennten hinteren Extremitäten. Die Wachstumsfuge mit angrenzender epiphysärer und metaphysärer Spongiosa wird entnommen. Bei Aufsicht auf die Knorpelscheibe wurde die zentrale Lamelle in dorso-ventraler Richtung mit einer Bandsäge isoliert. Fixation des Materials nach LILLY (1954) in gepuffertem neutralen Formol Ph 7,0 für 3 Tage bei vier Grad Celsius. Die Präparate wurden bei 30 Grad Celsius tiefgefroren und Nativschnitte am Kryomat-Mikrotom angefertigt. Diese wurden zur histologischen Auswertung mit Hämalaun-Eosin gefärbt. Untersucht wurden anhand von Röntgenbildern 1. die Erhaltung der Wachstumsfuge, 2. knöcherne Veränderungen, 3. das Längenwachstum verschiedener Teilstrecken der Tibia nach der Meßmethodik von BÜCHNER (1959). Gemessen wurde nach folgendem Schema:

- I Ephiphyse von der Mitte der Eminentia intercondylaris bis zur Mitte der proximalen Tibiawachstumsfuge

Abb. II: Verschiedene Teilstrecken
an der Tibia, bestimmt
nach der Meßmethodik von
Büchner (1959)

- (1) Epiphyse von der Mitte der Eminentia intercondylaris bis zur Mitte der proximalen Tibiawachstumsfuge
- (2) Diaphyse von der Mitte der proximalen Tibiawachstumsfuge zur distalen Tibiawachstumsfuge
- (3) Gesamtlänge der Tibia von der Mitte der Eminentia intercondylaris bis zur Mitte der distalen Epiphyse
- (4) Epiphysendurchmesser in Höhe der Wachstumsfuge von ventral nach dorsal, um perichondrale Reaktionen erfassen zu können.

- II Diaphyse von der Mitte der proximalen Tibia-
wachstumsfuge zur distalen Tibiawachstums-
fuge
- III Gesamtlänge der Tibia von der Mitte der Emi-
nentia intercondylica bis zur Mitte der
distalen Epiphyse
- IV Epiphysendurchmesser in Höhe der Wachstums-
fuge von medial nach lateral Der maximale
Epiphysendurchmesser wurde mitgemessen, um
eine perichondrale Reaktion erfassen zu kön-
nen.

Mikroskopische Beurteilung der Fugenstruktur im
Hämalaun-Eosin-Präparat, histomorphometrische
Strukturanalyse.

Unter der histomorphometrischen Strukturanalyse versteht man eine exakte Bestimmung von Meßwerten an biologischen Präparaten. Dafür ist eine genügende, d. h. hohe Anzahl von Meßwerten erforderlich, um statistisch signifikante Werte zu erhalten. Diese Analyse wurde mit dem Leitz-Klassimat durchgeführt. Der Klassimat besteht aus einem Mikroskop-Fersehanalyse-System und einer logischen Datenverknüpfungseinheit. Aufgabe des optischen Systems ist es, das zu untersuchende Objekt auf einer Fernsehröhre abzubilden. Das zur Messung ausgewählte Bild wird auf einem Monitor dargestellt. Über die Grauwert-Abstufung der Plum-bikonröhre des Monitors werden unterschiedliche Beleuchtungsstärken unverzerrt in quantitativ zu verarbeitende elektrische Signale übertragen (KAMIN et al. 1970). Das Meßprinzip ist ein Punktezählverfahren, wobei in vertikaler Richtung die Meßpunktzahl durch die Zeilenzahl der Röhre gegeben ist. Zur Höhenmessung einer bestimmten Struktur ist daher nur die senkrechte Einstellung des Objektes

Abb. III: Das zu untersuchende histologische Präparat stellt sich auf dem Monitor des Leitz-Klassimaten dar. Am linken Bildrand findet sich das elektronisch eingblendete Meßfeld, die sogenannte Maske.

Gemessen wurden:

- (1) Höhe der gesamten Wachstumsfuge
- (2) Höhe der Germinativzellschicht
- (3) Höhe des Säulenknorpels
- (4) Höhe der Hypertrophiezellschicht
- (5) Höhe der Eröffnungszellschicht



zur Zeilenrichtung erforderlich. Die ausgezählte Zahl ist ein direktes Maß der Längenausdehnung des zu messenden Anteils. Durch ein elektronisch eingeblendetes Meßfeld, das als Maske bezeichnet wird, kann die Höhe von einzelnen Strukturen bestimmt werden, da die außerhalb seines Wirkungsbereiches gelegenen Impulse ausgeblendet werden. Gemessen wurden

1. die Höhe der gesamten Wachstumsfuge,
2. Höhe der Germinativzellzone,
3. Höhe des Säulenknorpels,
4. Höhe der Hypertrophiezellzone,
5. Höhe der Eröffnungszellzone.

Für jeden dieser Meßwerte wurden pro Präparat 10 Messungen vorgenommen. Anschließend wurde ein Durchschnittswert mit Standardabweichung ermittelt. Anschließend wurde eine statistische Berechnung im T-Test für Paar-Differenzen vorgenommen, wobei die Meßwerte der rechten und linken Seite der operierten Tiere der einzelnen Altersstufen verglichen wurden.

Ergebnisse

Röntgenbefunde

Die sofort nach dem Einsetzen der Blount'schen Klammern angefertigten Röntgenkontrollaufnahmen zeigten einen guten Sitz derselben. Lediglich eine Klammer scherte aus dem sich im seitlichen Röntgenbild zeigenden Viererverband der Klammern aus, insofern, als ihr Sitz nach proximal bzw. distal verschoben war und teilweise der Eindruck gewonnen werden konnte, daß eine solche verschobene Klammer mit einer Spange die Wachstumsfuge tangierte. Dieses war jedoch durch Bildwandlerkontrolle intraoperativ ausgeschlossen worden.

Versuchstiere 6 Wochen postoperativ

Es wurden erneut Röntgenaufnahmen angefertigt und befundet. In der Form zeigten die Röntgenbilder der Gruppe 3, d. h. der Tiere, die zu diesem Zeitpunkt geschlachtet wurden, ohne daß die Klammern entfernt waren, keine wesentlichen Abweichungen im Vergleich mit der linken Kontrollseite. Der Fugenverlauf war regelmäßig und erhalten, röntgenologisch allerdings deutlich verschmälert. Die Spongiosazeichnung fand sich nicht verändert, weder im epi- noch im metaphysären Bereich. Bei dem Tier Nr. 23 war eine Klammer aus dem Knochen herausgerutscht und lag weit distal.

In den Gruppen 1 und 2, bei denen zu diesem Zeitpunkt die Klammern entfernt wurden, fanden sich im epiphysären Bereich zystische Aufhellungen, die dem ehemaligen Klammersitz entsprachen. Teilweise hatten sich um diese zystischen Hohlräume Sklerosierungssäume ausgebildet. Der Fugenverlauf war auch in diesen Gruppen erhalten und regelmäßig, die Fuge fand sich aber deutlich verschmälert. Bei dem Tier Nr. 18 war die Fuge im dorsalen Anteil fast dicht. In der Form fiel eine deutliche Verbreiterung sowohl der Epiphyse als auch der Metaphyse im Rechts-Links-Vergleich auf.

Drei Wochen nach Klammerentfernung wurden bei den Gruppen 1 und 2 erneut Röntgenkontrollaufnahmen angefertigt und ausgewertet. Auch zu diesem Zeitpunkt fanden sich makroskopisch sowohl die Epi- als auch die Metaphyse bei den meisten Tieren verbreitert. Der Fugenverlauf war erhalten, fand sich aber gegenüber der nicht operierten Seite nicht mehr erniedrigt. Epi- und metaphysäre Spongiosazeichnung waren regelmäßig. Lediglich bei den Tieren 18 und 20 fanden sich Besonderheiten. Das Tier Nr. 18 war bereits am 13. 11. verstorben, hier fanden sich im Röntgenbild unregelmäßige Begrenzungen, die Fuge war deutlich erniedrigt, und die epi- und metaphysäre Spongiosazeichnung war unruhig mit Aufhellungen und Verdichtungen. Beim Tier Nr. 20 zeigten sich vermehrte periostale Reaktionen, die Fugenbegrenzung war ventral verwaschen, aber noch erhalten.

Nach 12 Wochen Versuchsdauer hat die rechte Seite die Form der linken wieder erlangt, der Fugenverlauf ist regelmäßig und erhalten, die Spongiosazeichnung, sowohl epi- als auch metaphysär, regelrecht. Lediglich bei dem Tier Nr. 20 war weiterhin die unruhige Strukturierung mit Verbreiterung von Epi- und Metaphyse mit unruhiger verwaschener Spongiosazeichnung feststellbar, die Fuge selbst stellte sich als breiter Spalt dar, die Grenzen waren unregelmäßig. Beim Tier Nr. 28 fanden sich sowohl Epi- als auch Metaphyse verbreitert, es zeigten sich vermehrt periostale Reaktionen sowie eine verdichtete Spongiosazeichnung.

Nach 15 Wochen Versuchsdauer ergab sich ein entsprechender Befund wie nach 12 Wochen, größere Veränderungen im Rechts-Links-Vergleich sind nicht feststellbar. Lediglich bei dem Tier Nr. 15 sind sowohl Epi- als auch Metaphyse verbreitert.

Beurteilung

Nach 6 Wochen Versuchsdauer findet sich durch die Blount'sche Klammerung der Fugenverlauf im Röntgenbild zwar erhalten, die Fuge ist aber deutlich erniedrigt. In der Gruppe 3, bei der die Klammern zu diesem Zeitpunkt nicht entfernt wurden, fanden sich keine größeren Veränderungen in der Form bzw. Spongiosazeichnung. In der Gruppe 1 und 2, in der zu diesem Zeitpunkt die Klammern entfernt wurden, fanden sich zystische Aufhellungen im Klammersitzbereich, teilweise mit Sklerosierungssäumen. Diese Veränderungen

waren in Gruppe 3 nicht feststellbar, weil sie durch die Klammern verdeckt wurden. Auffallend war in Gruppe 1 und 2 bei etwa 50 % bereits makroskopisch die Verbreiterung der Epi- und Metaphyse. Nach 9 Wochen Versuchsdauer war die Verbreiterung der Epi- und Metaphyse noch auffallender, sie war bei 70 % der Tiere feststellbar. Auch hier fand sich der Fugenverlauf erhalten, die Fuge selbst war aber nicht mehr höhengemindert. Die Spongiosazeichnungen epi- und metaphysär hatten sich der nicht operierten Seite angeglichen. Es läßt sich also feststellen, daß bereits 3 Wochen nach Klammerentfernung die Fuge sich voll erholt hat und auch die Spongiosazeichnung im Normbereich liegt. Nach 12 und 15 Wochen sind auch die Verbreiterung der Epi- und Metaphyse nicht mehr feststellbar, es bestehen jetzt annähernd seitengleiche Befunde. Die vorübergehende Fugenverschmälerung ist durch den Druck der Blount'schen Klammern bedingt, die dem Wachstum in Längsrichtung entgegenwirken, bereits 3 Wochen nach Klammerentfernung hat die Fuge aber makroskopisch bereits wieder ihre regelrechte Höhe erreicht. Perichondrale Reaktionen drücken sich in einer Verbreiterung der Epi- und Metaphyse aus, nach 6 Wochen Versuchsdauer sind diese aber auch nicht mehr feststellbar.

Die oben erwähnten Sklerosierungssäume fanden sich zirkulär um den gesamten ehemaligen Klammer-sitzbereich herum, sind also als Reaktion des Knochens auf die Verletzung durch die Klammerbranchen zu verstehen. Sie zeigten sich nicht nur auf der der Fuge zugewandten Seite, sind demnach nicht durch einen auf die Klammerbranchen ausgeübten Wachstumsdruck der Fugen bedingt.

Metrische Bestimmungen am Röntgenbild nach BÜCHNER

Die Meßstrecken I bis IV wurden mit dem Stechzirkel vom Röntgenbild des Operations-
tages sowie 6, 9, 12 und 15 Wochen danach im
Rechts-Links-Vergleich abgenommen. Die Ablese-
ungsnauigkeit der Meßpunkte auf dem Film wurde
mit einem Millimeter veranschlagt. Es wurde
davon ausgegangen, daß die Wachstumsrate für
rechtes und linkes Hinterbein in den verschie-
denen Meßgrößen gleich sind, nachgewiesen wur-
de dieses bereits durch RODEGERDTS (1976) für
die Vorderbeine der Schweine. Es wurden zunächst
im Rechts-Links-Vergleich bei den 10 Wochen al-
ten Tieren die Epiphysenhöhe, Diaphysenlänge,
Gesamtlänge der Tibia und Breite der Epiphyse
ausgemessen und aus den Meßwerten für die rech-
te und linke Seite Mittelwerte ermittelt. Alle
Größen waren im Rechts-Links-Vergleich entspre-
chend, so daß sich keine Längenunterschiede der
nicht operierten Extremitäten ergeben. 6 Wochen
nach der Blount'schen Klammerung wurden dann er-
neut Röntgenmeßaufnahmen angefertigt und wiederum
Mittelwerte festgelegt. Wie anhand der Mittelwert-
tabelle ersichtlich, ist das Wachstum diaphysär
auf der rechten Seite um 0,41 cm zurückgeblieben,
in der Gesamtlänge der Tibia um 0,51 cm. Diese
Differenz in der Länge der Tibia und Diaphyse
bleibt nach Klammerentfernung über den gesamten
Versuchszeitraum erhalten, so daß ein überschie-
ßendes Wachstum im Sinne des Catch up - Wachstums
nach Entfernung der Klammern nicht verifizierbar
ist. Die Epiphysenhöhe bleibt über den gesamten
Versuchszeitraum im Mittelwert ab Versuchsbe-
ginn nach 10 Wochen konstant. Auffallend ist die

Epiphysen- und Metaphysenverbreiterung, die im Sinne der perichondralen Reaktion zu verstehen ist.

Beurteilung

Nach 6 Wochen Versuchsdauer ist durch die Blount'sche Klammerung eine Wachstumsverzögerung der Gesamttibia und der Diaphyse eingetreten, die Längendifferenz beträgt diaphysär 0,41 cm und für die gesamte Tibia 0,51 cm. Nach Klammerentfernung bleibt diese Differenz bis zum Versuchsende erhalten, ein überschüssiges Wachstum mit stärkerer Angleichung der Differenzmeßwerte ergibt sich nicht. Die Wachstumsfuge ist also durch die Klammerentfernung nicht stimuliert worden.

Tab. I: Meßwerte am Röntgenbild mit dem Büchner-Meßstab

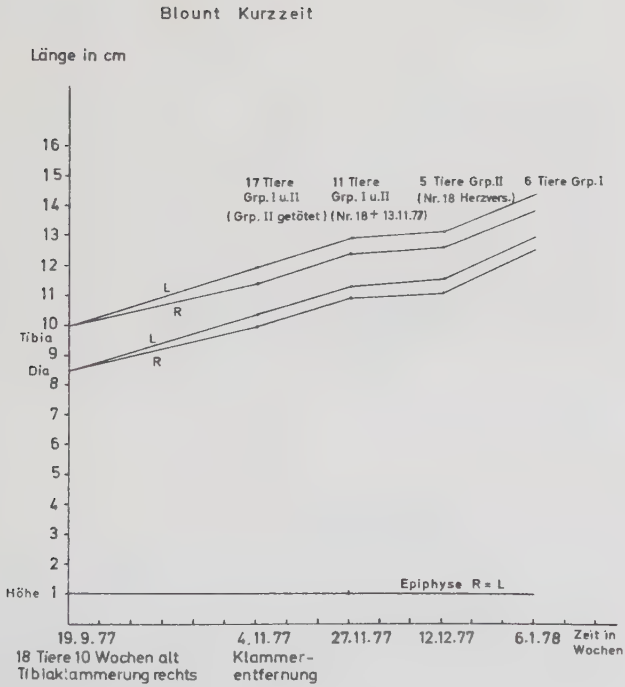
Kurzzeit Blount	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
19.9.77																		
Epi R = L	1,05	1,04	1,04	1,06	1,00	1,00	1,00	0,92	1,08	0,98	1,00	1,05	0,97	1,00	0,98	0,99	1,00	0,92
Dia	8,12	8,21	8,88	8,80	8,62	8,47	7,82	8,40	8,80	8,05	8,64	9,23	8,85	8,64	8,62	8,61	8,42	8,00
Tibia	10,28	9,92	9,62	10,42	9,62	9,78	9,42	9,62	10,61	9,62	9,95	10,41	10,41	9,95	10,22	10,44	10,00	9,38
Breite Epi	2,91	2,64	2,70	2,80	2,40	2,60	2,40	2,50	2,62	2,43	2,63	2,71	2,71	2,72	2,43	2,72	2,63	2,05
4.11.77																		
Epi R	1,01	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,90	0,99	1,00	1,00	1,01	0,98	0,98	1,00	1,00	1,01	1,01
Dia	10,1	-	10,8	10,6	10,0	10,0	9,1	9,3	10,5	9,8	9,0	-	10,1	9,6	9,8	9,8	9,8	13,10
Tibia	12,0	-	12,5	12,1	11,2	11,3	10,4	10,7	11,6	11,2	10,5	-	11,7	10,8	11,0	11,4	11,5	77
Breite Epi	3,21	3,1	3,45	3,25	3,12	3,24	3,21	3,21	3,35	3,02	-	3,43	3,19	3,22	-	3,01	3,32	Sepsis
Epi L	1,04	1,02	0,99	1,00	1,00	0,99	0,95	0,90	1,01	0,99	1,05	1,01	1,04	0,98	1,04	1,00	1,02	1,02
Dia	10,6	-	11,4	11,1	10,2	10,8	9,2	10,2	10,8	9,9	9,4	-	10,6	10,2	10,2	10,6	9,8	1,02
Tibia	12,4	-	13,0	12,5	11,5	12,1	10,5	11,5	12,4	11,4	10,7	-	12,0	11,4	11,7	12,1	12,5	1,02
Breite Epi	3,21	2,97	3,45	3,25	2,85	3,20	2,9	2,98	2,98	2,85	2,8	3,21	3,01	2,95	2,91	2,83	3,1	1,02
24.11.77																		
Epi R	1,01	1,00	1,00	0,99	1,01	0,99	1,01	0,99	1,00	1,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia	10,92	11,18	11,42	11,1	11,1	10,71	13,11	10,23	-	10,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Tibia	12,41	12,55	13,01	12,58	12,6	12,42	77	11,62	-	11,71	-	-	-	-	-	-	-	-
Breite Epi	3,61	3,58	3,61	3,51	3,19	3,58	3,42	3,42	-	3,03	-	-	-	-	-	-	-	-
Epi L	1,02	0,98	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	1,01	1,00	0,99	1,01	1,00	0,99	1,01	0,99	1,01	1,01
Dia	11,42	11,32	12,01	11,61	10,42	11,55	10,95	11,02	10,81	10,81	10,95	11,02	10,81	10,95	11,02	10,81	10,95	1,01
Tibia	13,02	12,60	13,61	13,6	11,8	13,0	12,38	12,81	12,42	12,42	12,38	12,81	12,42	12,38	12,81	12,42	12,38	1,01
Breite Epi	3,4	3,22	3,51	3,21	2,95	3,22	3,21	3,2	2,85	2,85	-	-	-	-	-	-	-	-
11.12.77																		
Epi R	1,03	1,0	-	1,0	0,99	1,0	0,99	0,99	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia	11,4	11,2	-	11,8	11,5	11,0	10,4	10,4	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Tibia	13,2	12,8	-	13,4	12,8	12,5	11,8	11,8	-	12,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Breite Epi	-	3,6	-	3,62	3,48	4,31	4,12	4,12	-	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-
Epi L	1,01	1,0	-	1,0	0,99	0,99	0,99	0,99	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia	11,0	11,4	-	12,0	11,6	11,7	10,9	10,9	-	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Tibia	13,8	13,0	-	13,6	12,9	13,1	12,6	12,6	-	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Breite Epi	3,07	3,58	-	3,48	3,38	4,31	4,01	4,01	-	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-
6.1.80																		
Epi R	1,0	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia	12,7	12,3	12,8	12,7	12,4	12,4	12,4	12,4	-	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Tibia	13,9	13,4	13,3	13,9	13,7	13,7	13,7	13,7	-	13,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Breite Epi	4,01	3,48	1,23	3,02	4,27	4,27	4,27	4,27	-	4,27	-	-	-	-	-	-	-	-
Epi L	1,0	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia	13,1	12,5	13,5	13,1	12,4	12,4	12,4	12,4	-	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Tibia	14,0	13,8	13,7	13,4	13,0	13,0	13,0	13,0	-	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Breite Epi	4,1	3,38	1,32	3,6	4,4	4,4	4,4	4,4	-	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. II: Mittelwerte im Kurzzeitversuch Blount, gemessen am Röntgenbild mit Büchner-Meßstab

Versuchsdauer				
	19. 9.77	Epi R = L	1,00	
		Dia	8,45	
		Tibia	9,93	
		Breite Epi	2,59	
			R	L
6 Wo.	4.11.77	Epi	0,99	1,00
		Dia	9,92	10,33
		Tibia	11,33	11,84
		Breite Epi	3,24	3,01
9 Wo.	21.11.77	Epi	1,00	0,997
		Dia	10,89	11,28
		Tibia	12,33	12,83
		Breite Epi	3,46	3,21
12 Wo.	12.12.77	Epi	1,00	0,997
		Dia	11,06	11,5
		Tibia	12,56	13,05
		Breite Epi	3,79	3,76
15 Wo.	6. 1.78	Epi	0,995	0,995
		Dia	12,5	12,95
		Tibia	13,83	14,35
		Breite Epi	3,45	3,2

Versuchsdauer		<u>Differenzbeträge</u>	
	19. 9.77	Tibiadiaphyse	Ausgangswerte
		Tibia gesamt	gleich
6 Wo.	4.11.77	Tibiadiaphyse	4,1 mm
		Tibia gesamt	5,1 mm
9 Wo.	24.11.77	Tibiadiaphyse	3,9 mm
		Tibia gesamt	5,0 mm
12 Wo.	12.12.77	Tibiadiaphyse	4,5 mm
		Tibia gesamt	5,2 mm

Abb. IV: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Röntgenlängenmessungen mit dem Büchner-Meßstab



Histomorphometrische Strukturanalyse

Die quantitative metrische Strukturanalyse wurde im Rechts-Links-Seitenvergleich bei 6 Tieren der Gruppe 1, bei 5 Tieren der Gruppe 2 und ebenso bei 5 Tieren der Gruppe 3 durchgeführt. Ein Tier der Gruppe 2 und ein Tier der Gruppe 3 konnten nicht ausgewertet werden, da sie vorher an Herzversagen bzw. an Sepsis verstorben waren. Die Messungen am histologischen Präparat wurden über die Gesamtbreite durchgeführt, insgesamt wurde an 10 verschiedenen Stellen gemessen. An Einzelstrukturen der Fugen wurden die Höhe der Germinativzellzone, die metaphysäre Säulenknorpelhöhe, bestehend aus der metaphysären Proliferations-, der Palisaden-, der Hypertrophie- und der Eröffnungszellzone, die Gesamtfugenhöhe sowie die Hypertrophiezellzone und die Eröffnungszellzone ausgemessen. Aus den jeweils gewonnenen 10 Meßwerten wurden die Mittelwerte gebildet (s. Tab. III) und der T-Test für Paar-Differenzen angeschlossen.

6 Wochen Versuchsdauer

Im Links-Rechts-Vergleich der Gruppe 3 nach Blount'scher Klammerung finden sich alle Schichten auf der geklammerten Seite erniedrigt, lediglich die Eröffnungszellzone ist größer. Dies bedeutet, daß durch den Klammerdruck das Wachstum gebremst wurde, dazu paßt auch die Erhöhung der Eröffnungszellzone als Hinweis darauf, daß der Ossifikationsvorgang vermindert ist und weniger Zellen eröffnet und abgebaut werden.

12 Wochen Versuchsdauer

Im Links-Rechts-Vergleich finden sich alle Schichten einander angeglichen, Höhendifferenzen sind nicht feststellbar. Dies bedeutet, daß nach der Klammerentfernung die Fuge wieder ihre normale Höhe erreicht, ein überschießendes Wachstum sich aber nicht feststellen läßt.

15 Wochen Versuchsdauer

Im Links-Rechts-Vergleich finden sich wiederum alle Schichten in gleicher Höhe, lediglich die Hypertrophiezellzone ist links signifikant gegenüber rechts erhöht. Da die Eröffnungszellzone aber keine Abweichung im Links-Rechts-Vergleich ergibt, läßt sich dieser Befund nicht im Sinne einer Wachstumsverzögerung deuten.

Tier	Fuge links	Fuge rechts	Germinativ links	Germinativ rechts	Säule links	Säule rechts	Hypertrophie links	Hypertrophie re.	Eröffnungszone links	Eröffnungszone rechts
Nr. 12	556,60	546,65	32,86	34,10	494,10	441,00	99,51	74,65	32,26	33,30
13	601,33	671,10	33,48	32,86	500,19	509,04	115,44	71,60	31,35	31,21
14	668,75	680,51	31,01	32,24	565,07	617,40	123,94	72,46	32,86	30,46
15	554,88	772,82	35,03	35,65	465,29	562,30	130,18	78,55	30,10	32,16
16	624,65	636,41	32,24	32,86	526,65	533,32	119,96	73,24	31,32	31,27
27	621,32	649,94	31,31	33,17	509,21	600,74	110,91	46,41	32,14	30,37
Nr. 17	654,05	726,57	31,31	31,61	521,36	580,55	108,26	107,41	36,89	38,75
18	Herzversagen beim Röntgen.									
19	582,90	606,82	30,69	33,17	464,52	542,72	110,21	90,25	36,27	34,41
20	621,32	640,32	31,52	36,58	495,88	505,48	119,35	91,96	35,65	34,12
21	600,94	633,47	34,20	37,79	517,38	575,46	116,92	74,57	33,79	33,48
28	431,20	352,02	35,03	32,24	343,39	286,16	74,80	103,51	33,17	35,03
Nr. 22	615,05	437,67	37,82	28,21	524,50	332,42	93,37	75,97	35,03	48,67
23	642,12	385,12	29,76	24,79	535,42	352,21	94,86	88,53	45,88	57,97
24	627,20	373,77	39,06	24,80	532,80	277,93	98,41	90,79	45,90	50,22
25	656,60	344,96	30,38	23,25	549,98	255,06	95,71	94,86	42,47	45,57
26	679,92	432,38	37,51	25,24	560,60	313,60	130,03	95,55	38,44	52,39
29	An Sepsis unter der Erst-Op. verstorben.									

Tab. III: Mittelwerte aus 10 Messungen an histologischen Präparaten im Kurzzeitversuch

Tab. IV: T-Test für Paardifferenzen Links - Rechts
Vergleich der Gruppe III nach Blountscher
Klammerung

Nr. 1/2 Fuge links/rechts
Nr. 3/4 Germinativ links/rechts
Nr. 5/6 Säule links/rechts
Nr. 7/8 Hypertrophie links/rechts
Nr. 9/10 Eröffnungszone links/rechts

NR: 1. MIT = 644.17798 +- 25.36114
NR: 2. MIT = 394.78000 +- 39.59194
MIT(DIF) = 249.39800 +- 21.37538
T= 11.67 DF= 3.

IRRUMSWAHRSCH. $P < 1 \%$

NR: 3. MIT = 34.90600 +- 4.45797
NR: 4. MIT = 25.21400 +- 1.93506
MIT(DIF) = 9.69200 +- 1.62654
T= 5.96 DF= 3.

IRRUMSWAHRSCH. $P < 1 \%$

NR: 5. MIT = 540.61199 +- 14.36426
NR: 6. MIT = 306.24400 +- 39.60318
MIT(DIF) = 234.36800 +- 20.79164
T= 11.27 DF= 3.

IRRUMSWAHRSCH. $P < 1 \%$

NR: 7. MIT = 102.47600 +- 15.51175
NR: 8. MIT = 89.14000 +- 7.91123
MIT(DIF) = 13.33600 +- 5.92133
T= 2.25 DF= 3.

NR: 9. MIT = 41.54400 +- 4.76183
NR: 10. MIT = 50.96400 +- 4.63758
MIT(DIF) = -9.42000 +- 2.36020
T= 3.99

IRRUMSWAHRSCH. $P < 5 \%$

Tab. V: T-Test für Paardifferenzen
Links - Rechts Vergleich der Gruppe II
6 Wochen nach Klammerentfernung

Nr. 11/12 Fuge links/rechts
Nr. 13/14 Germinativ links/rechts
Nr. 15/16 Säule links/rechts
Nr. 19/20 Eröffnungszone links/rechts

NR:	11.	MIT =	578.08200 +- 86.25641
NR:	12.	MIT =	591.83999 +- 141.39800
MIT(DIF)=		-13.75799 +- 25.07347	
T=	0.55	DF=	3.

NR:	13.	MIT =	33.33000 +- 2.19824
NR:	14.	MIT =	33.47800 +- 1.92592
MIT(DIF)=		-0.14800 +- 0.86990	
T=	0.17	DF=	3.

NR:	15.	MIT =	468.50600 +- 73.48716
NR:	16.	MIT =	498.07401 +- 122.21553
MIT(DIF)=		-29.56802 +- 24.48274	
T=	1.21	DF=	3.

NR:	17.	MIT =	105.90799 +- 17.98401
NR:	18.	MIT =	93.54000 +- 12.89340
MIT(DIF)=		12.36800 +- 12.25211	
T=	1.01	DF=	3.

NR:	19.	MIT =	35.15400 +- 1.60483
NR:	20.	MIT =	35.15800 +- 2.08395
MIT(DIF)=		-0.00400 +- 0.80049	
T=	0.00	DF=	3.

Tab. VI: T-Test für Paardifferenzen
Links - Rechts Vergleich der Gruppe I
9 Wochen nach Klammerentfernung

Nr. 21/22 Fuge links/rechts
Nr. 23/24 Germinativ links/rechts
Nr. 25/26 Säule links/rechts
Nr. 27/28 Hypertrophie links/rechts
Nr. 29/30 Eröffnungszone links/rechts

NR:	21.	MIT =	604.58832 +- 43.78035
NR:	22.	MIT =	659.57166 +- 73.18068
MIT(DIF)=	-54.98334 +- 34.36151		
T=	1.60	DF	4.

NR:	23.	MIT =	32.65333 +- 1.48885
NR:	24.	MIT =	33.48000 +- 1.22440
MIT(DIF)=	-0.82667 +- 0.34582		
T=	2.39	DF=	4.

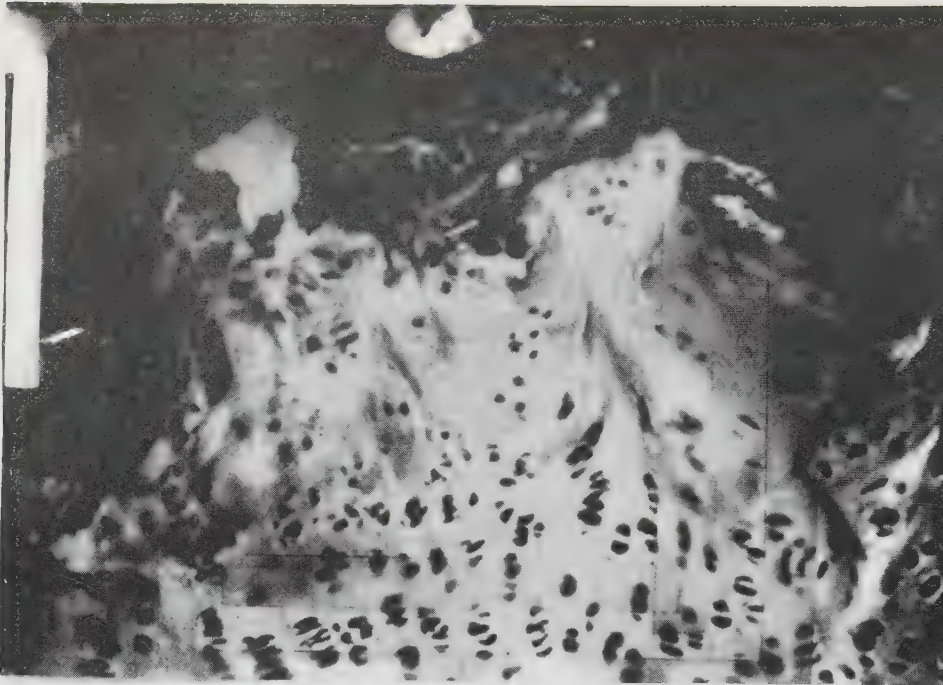
IRRTUMSWAHRSC. P< 10 %

NR:	25.	MIT =	508.58499 +- 36.14515
NR:	26.	MIT =	543.96666 +- 64.63305
MIT(DIF)=	-35.38167 +- 24.34854		
T=	1.45	DF=	4.

NR:	27.	MIT =	116.65666 +- 10.72711
NR:	28.	MIT =	69.48500 +- 11.56487
MIT(DIF)=	47.17167 +- 5.31609		
T=	8.87	DF=	4.

IRRTUMSWAHRSC. P< 1 %

NR:	29.	MIT =	31.67167 +- 0.96695
NR:	30.	MIT =	31.46167 +- 1.11016
MIT(DIF)=	0.21000 +- 0.68253		
T=	0.31	DF=	4.



Epiphyse Zone

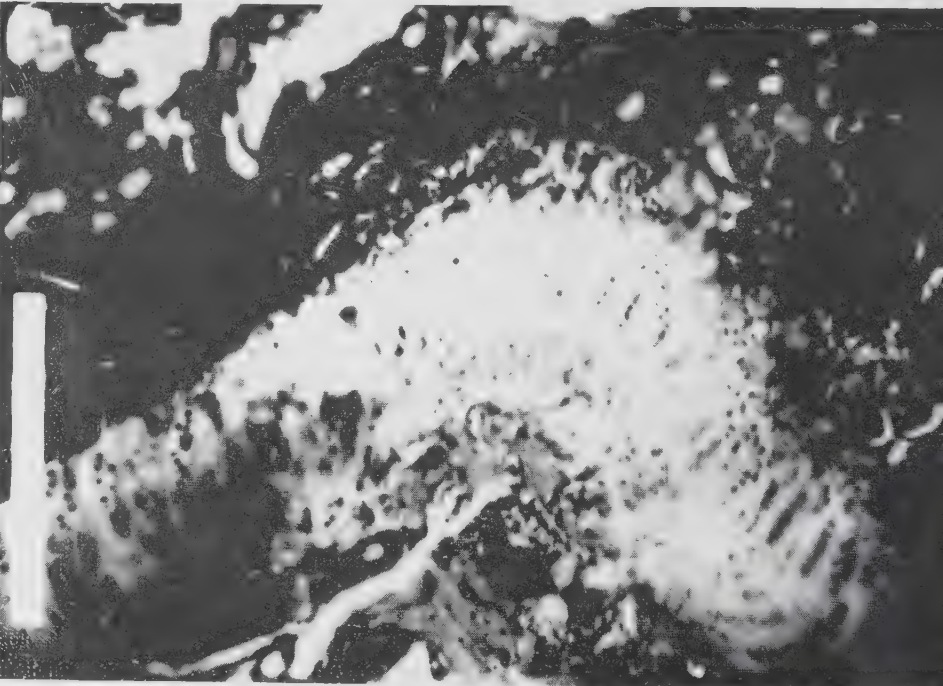


Abb. V:

Rechte Fuge 6 Wochen nach
Blount-Klammerung

Abb. V: Metaphysäre Zone

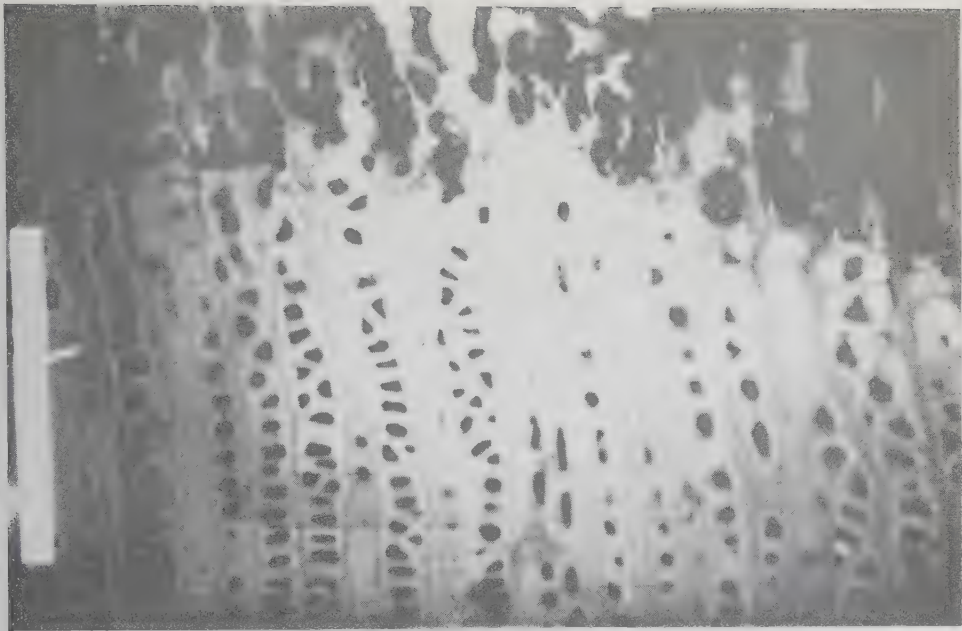
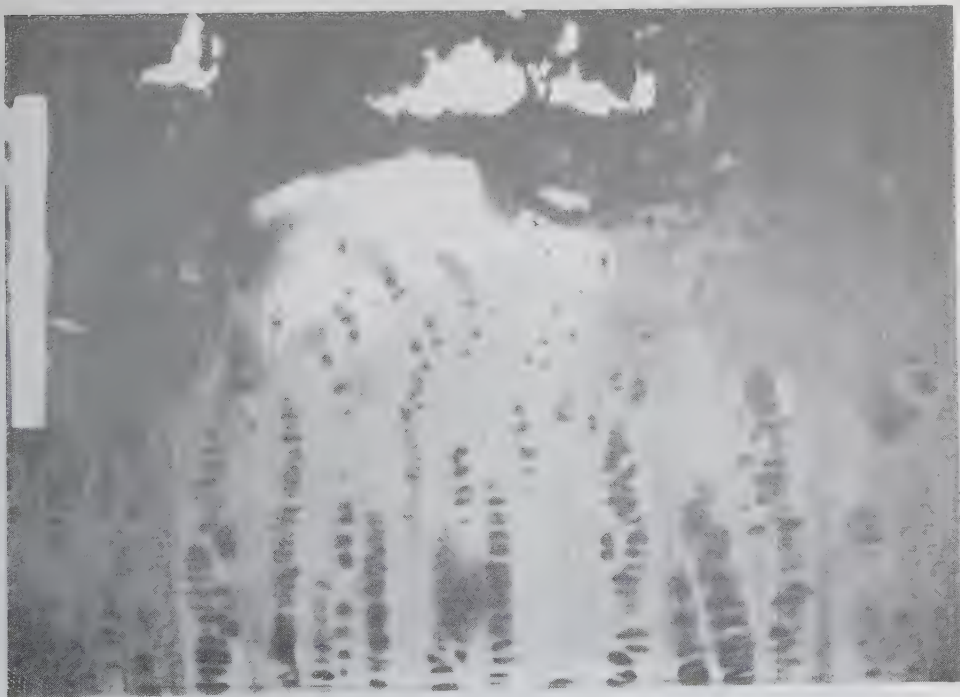


Abb. VI: Epiophysäre Zone



Linke Fuge 6 Wochen nach
Blount-Klammerentfernung

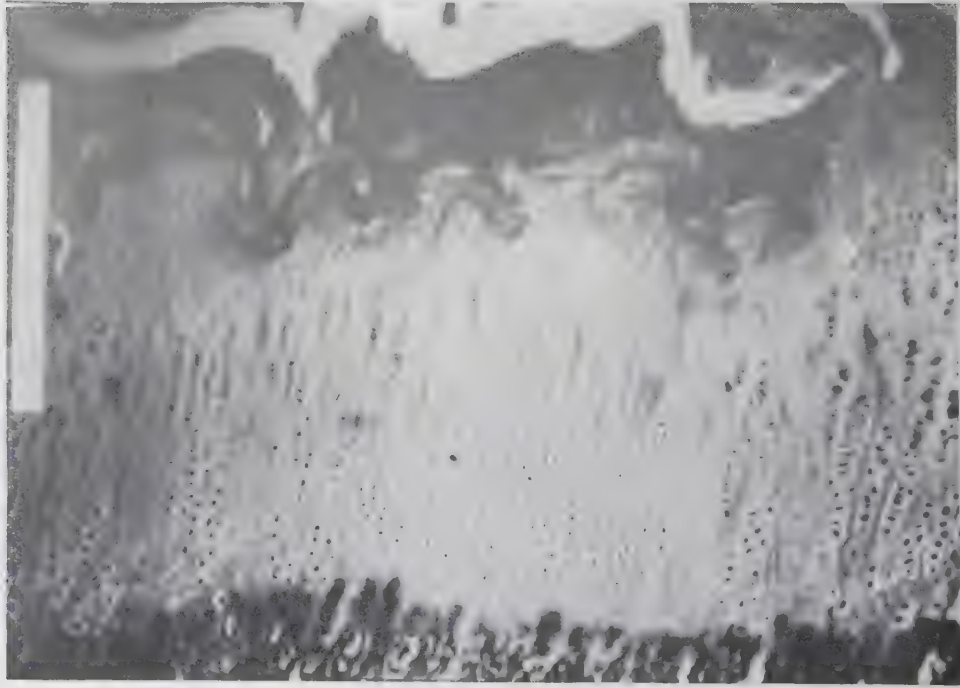


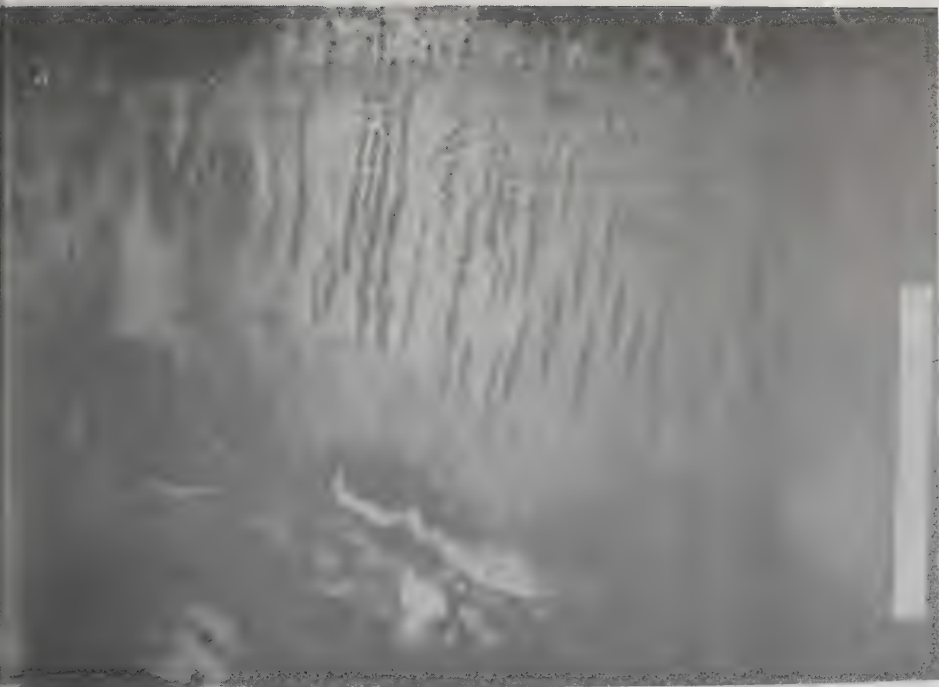
Abb. VI:

Metaphysäre Zone





Epiphysäre Zone



Rechte Fuge 6 Wochen nach
Blount-Klammerentfernung

Abb. VII:

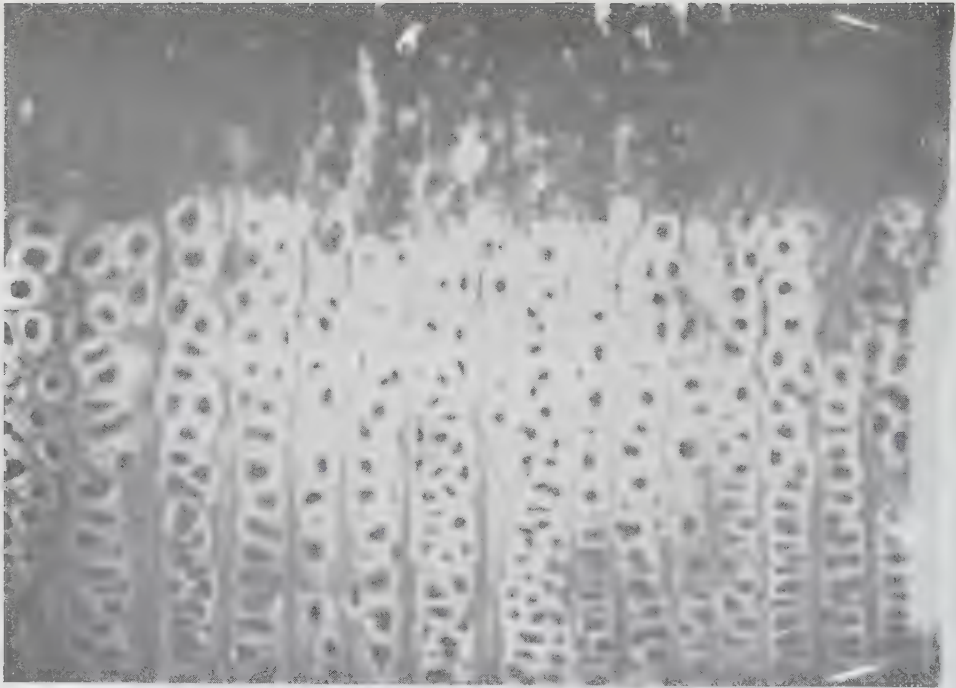


Abb. VII: Metaphysäre Zone

Ergebnisse der Langzeitversuche Blount

Im Alter von 10 Wochen erfolgte bei 12 Tieren die Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiaepiphysenfuge. Ein Tier verstarb unter der Operation, so daß 11 Tiere röntgenologisch mit dem Büchner-Meßstab kontrolliert werden konnten. Die Meßwerte zu diesem Zeitpunkt im Rechts-Links-Vergleich ergaben keine Unterschiede, so daß von einem gleichen Ausgangswert und gleicher Wachstumsgeschwindigkeit während der ersten 10 Wochen ausgegangen werden kann. Weitere Röntgenkontrollaufnahmen wurden angefertigt nach 4 Monaten, 6 Monaten und 9 Monaten sowie anschließend in Monatsabständen, jeweils zur Zeitpunkt des Tötens. Diese Monatsabstände wurden deswegen gewählt, damit der Fugenverschluß auf der gesunden linken Seite verifiziert werden konnte. Nur wenn bekannt ist, wann die linke bzw. rechte Epiphysenfuge sich schließt, kann ausgesagt werden, ob ein vorzeitiger Fugenschluß eingetreten ist und wie groß der Differenzbetrag ist.

Die Röntgenaufnahmen zum Operationszeitpunkt am 15. 3. 1977 zeigten sämtliche Klammern in regelrechter Lage, die Fuge wurde nicht tangiert.

Makroskopisch nach 4 Monaten Versuchsdauer

Die Form von Epi- und Metaphyse rechts erscheint gegenüber der nicht geklammerten Seite unverändert, der Fugenverlauf ist erhalten, jedoch in allen Fällen verschmälert, die Spongiosazeichnung epi- und metaphysär unverändert. Bei den Tieren 6, 7 und 9 hat eine Klammer ihre Funktion ver-

loren und ist nach proximal bzw. distal aus dem Knochen herausgerutscht.

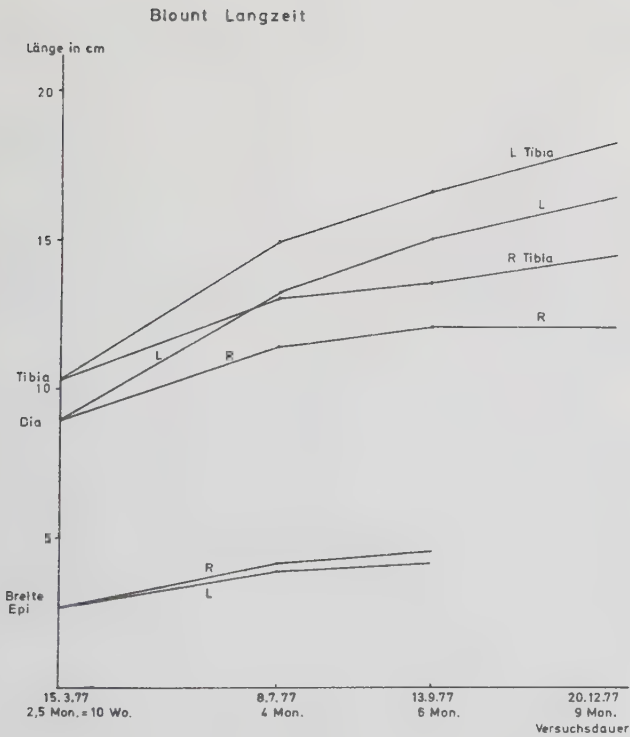
6 Monate Versuchsdauer

Die Epi- und Metaphyse haben auf der geklammerten Seite deutlich an Breite zugenommen. Die Spongiosazeichnung epi- und metaphysär ist gleich, der Fugenverlauf erhalten und verschmälert. Wie im Vorbefund vom 8. 7. findet sich auch am 13. 9. jeweils eine Klammer bei den Tieren 6, 7, 9 und 10 herausgerutscht. Während des Röntgens verstarben die Tiere 7, 9 und 11.

Nach 9 Monaten Versuchsdauer zeigte sich die Fuge auf der linken Seite in 7 Fällen erhalten, auf der rechten Seite war in 6 Fällen die Fuge dicht. Bei dem Tier 8 war rechts die Fuge nicht getroffen, so daß keine Aussage darüber gemacht werden konnte, ob sie noch offen oder bereits verschlossen war. Der Fugenverschluß rechts erfolgte somit nach 9 Monaten Versuchsdauer.

Letzte Röntgenkontrollen erfolgten dann beim Schlachten der Tiere. Auf der rechten Seite war die Tibiaepiphysenfuge proximal dicht. Auf der linken Seite war die Tibiafuge am 21. 9. 1978, 9. 10. 1978 sowie 13. 12. 1978 offen, am 9. 3. 1979, 22. 9. 1979 und zweimal am 10. 10. 1979 war die Fuge dicht. Der Epiphysenfugenverschluß auf der linken Seite erfolgte demnach zwischen dem 13. 12. 1978 und 9. 3. 1979, d. h. nach 2 Jahren.

Abb. VIII: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Röntgenlängenmessungen mit dem Büchner-Meßstab



Längenmessung mit dem Büchner-Meßstab

Am 15. 3. 1977 wurde bei 12 Tieren im Alter von 10 Wochen eine Blountsche Klammerung der proximalen Tibiaepiphysenfuge durchgeführt, die Nr. 12 verstarb unter der Op. Die Tiere 1 bis 11 wurden gerötet, die vergleichende Messung ergab gleiche Werte für rechts und links. Es zeigten sich für diese Kontrolltiere somit gleiche Ausgangswerte im Rechts-Links-Vergleich. Veränderungen in den Längen müssen somit operationsbedingt sein.

Die Röntgenkontrollen nach 4 Monaten Versuchsdauer bei den Tieren Nr. 1 bis 11 zeigten eine Wachstumsverlangsamung auf der rechten Seite durch die Blountsche Klammerung, der Differenzbetrag diaphysär betrug 1,88 cm, für die Gesamtlänge der Tibia 1,90 cm. Die Epiphyse war um 1 mm höhengemindert, die Breite war beidseits gleich.

Die Röntgenkontrollen nach 6 Monaten Versuchsdauer zeigten weiterhin die Epiphyse höhengemindert, die metaphysäre Breite hatte aber deutlich zugenommen und war rechts um 0,39 mm erhöht. Durch die Klammerung war eine zunehmende Differenz der Tibia- und Diaphysenlänge feststellbar, der Differenzwert lag diaphysär bei 2,91 cm und für die Gesamtlänge der Tibia bei 3,02 cm.

Die Röntgenkontrollen nach 9 Monaten Versuchsdauer zeigten eine entsprechende Entwicklung, die diaphysäre Differenz betrug nun 3,40 cm, für die Gesamtlänge der Tibia 3,70 cm.

Zum Zeitpunkt des Tötens wurde keine Längenmessungen mehr durchgeführt, da die Tötungszeitpunkte weit auseinander lagen und Mittelwerte nicht gebildet werden konnten.

Histologische Präparate konnten nicht gewonnen werden, die Fugen waren bereits verschlossen.

Langzeit Blount OP u. RG 15.3.77		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittel- werte
Epi R	0,90	1,00	0,98	0,94	0,98	0,90	1,00	0,94	0,91	1,00	1,00	1,00		0,96
Dia	9,00	9,02	9,38	8,62	8,75	9,14	8,50	8,98	8,86	9,00	9,00	9,00		8,932
Tibia	10,22	10,43	10,82	9,97	9,84	10,38	9,93	10,10	10,61	10,48	10,53	10,53		10,26
Breite Epi	2,78	2,78	2,92	2,64	2,78	2,62	2,58	2,68	2,65	2,51	2,82	2,82		2,70
Epi L	0,90	1,00	0,98	0,94	0,98	0,90	1,00	0,94	0,91	1,08	1,05	1,05		Links
Dia	9,00	9,02	9,38	8,62	8,75	9,14	8,50	8,98	8,86	9,00	9,00	9,00		ent-
Tibia	10,22	10,43	10,82	9,97	9,84	10,38	9,93	10,10	10,16	10,48	10,53	10,53		spricht
Breite Epi	2,78	2,78	2,92	2,64	2,78	2,62	2,58	2,68	2,65	2,51	2,82	2,82		rechts
8.7.77														
Epi R	1,01	1,08	1,14	1,17	1,13	überbe-	1,07	1,01	1,01	1,03	1,05	1,05		1,07
Dia	14,11	13,06	13,88		12,88	lichtet	12,98	13,23	13,00	13,05	13,45	13,45		13,29
Tibia	15,51	14,80	15,58	3,86	14,53	Grenzen	14,62	14,72	14,78	14,78	15,20	15,20		14,95
Breite Epi	4,00	3,80	4,56		4,12	unscharf	3,85	3,85	3,87	3,85	3,82	3,82		3,96
Epi L	0,90	1,00	0,98	0,98	1,00	0,90	1,00	0,95	0,93	1,00	1,00	1,00		0,97
Dia	überbe-	12,08	10,91	11,21	11,21		11,42	11,41	11,42	1	1	1		11,41
Tibia	lichtet	13,55	13,38	13,67	13,67	1	12,94	12,76	13,00	1	1	1		13,05
Breite Epi		3,92	4,20	4,18	4,18		4,01	4,22	4,24	4,02	3,99	3,99		4,10
13.9.77														
Epi R	1,00	0,95	0,99	1,00	0,98	0,88	1,00	1,00	0,92	0,99	1,00	1,00		0,97
Dia	11,83	12,76	12,42	11,40	11,82	12,23	12,62	11,78	12,25	11,82	12,61	12,61		12,14
Tibia	13,38	14,00	14,08	13,00	13,24	13,58	13,98	13,38	13,78	13,38	14,81	14,81		13,63
Breite Epi	4,81	4,61	4,62	4,82	4,42	4,24	4,42	4,61	4,58	4,50	4,62	4,62		4,57
Epi L	1,01	1,02	1,06	1,10	1,03	1,12	1,03	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00		1,03
Dia	15,43	15,00	15,53	14,82	14,96	überbe-	14,98	überbe-	15,38	14,82	15,00	15,00		15,05
Tibia	17,00	16,63	17,03	16,62	16,62	16,22	16,45	lichtet	16,78	16,42	16,78	16,78		16,65
Breite Epi	4,47	4,17	4,50	4,42	4,34	4,00	4,00	4,20	3,83	4,00	4,00	4,00		4,17
20.12.77														
Fuge re	dicht													
Fuge li	offen													

Tab. VII: Meßwerte am Röntgenbild mit Büchner-Meßstab

Diskussion über die Literatur der Blountschen Klammerung

Beinlängenunterschiede stellen nicht nur eine Beeinträchtigung der Lokomotilität dar, die weitaus wichtigere Störung betrifft die statischen Verhältnisse des Beckens mit ihren Folgen für die Gelenke und die Wirbelsäule. So gewinnen diese Körperfehler wegen der damit verbundenen präarthrotischen Deformitäten für den Orthopäden an Bedeutung. Konservativen Methoden des Beinlängenausgleichs durch Schuherhöhung oder Apparate sind Grenzen gesetzt. Daher bemüht man sich seit langem, durch operative Maßnahmen die Beinlängendiskrepanz zu beseitigen. Grundsätzlich bestehen folgende Operationsmöglichkeiten:

1. Die Verlängerung der zu kurzen Extremität
2. Die Verkürzung der zu langen, meist gesunden Extremität
3. Die Kombination beider Operationen
4. Die temporäre oder permanente Epiphysiodese beim Kind und Jugendlichen
5. Wachstumsstimulierende Eingriffe an der Epiphysenfuge beim Kind und Jugendlichen

Die Operationen 1 bis 3 werden fast ausschließlich am Oberschenkel durchgeführt und sind hier als sichere Operation zu bezeichnen. Da sie aber erst nach Abschluß des Wachstums durchgeführt werden können, bedeutet dieses Zuwarten einen wesentlichen Zeitverlust. Die Behandlung sollte bis zum Ende des Wachstums abgeschlossen sein, es ist nur zweckmäßig, das physiologische Wachstum der Gliedmaßen für ihren Längenausgleich auszunutzen. HUNTER (1779) erkannte die knorpelige Epiphysenfuge als das Zentrum des Längenwachstums, OLLIER (1867) konnte es im Tierexperiment endgültig beweisen. In der Folgezeit wurden sehr viele Versuche unternommen, die Wachstumsrate der Fuge zu beschleunigen bzw. zu bremsen. Wünschenswert wäre die stimulative Beeinflussung des Wachstums einer verkürzten Extremität, da das gesunde Bein nicht tangiert zu werden braucht.

Folgende wachstumsstimulierende Methoden wurden versucht:

1. Mechanischer Angriff im Meta- und Epiphysenbereich
2. Chemischer Angriff im Meta- und Epiphysenbereich
3. Periostablösung im Diaphysenbereich
4. Angriff am Nervensystem
5. Angriff am Gefäßsystem
6. Thermische Reize
7. Elektrischer Strom
8. Änderung der Druckverhältnisse

Die Begutachtung der erzielten Ergebnisse läßt erkennen, daß die Längengewinne, wenn vorhanden, nur sehr geringfügig sind, ihre Wirksamkeit in der Dauer begrenzt ist, und eine exakte Vorausbestimmung nicht möglich ist. Aus diesen Gründen sind Stimulationsoperationen in der Klinik momentan nicht anwendbar. Nach den augenblicklichen wissenschaftlichen Erkenntnissen verbleibt somit zum Ausgleich von Beinlängendifferenzen beim Kind und Jugendlichen die Wachstumsbremsung der Fuge durch die temporäre Epiphysiodese nach BLOUNT bzw. die endgültige Epiphysiodese nach PHEMISTER. Während die PHEMISTER-Op. allgemein als sicheres Operationsverfahren anerkannt ist, wird die BLOUNT'sche Klammerung wegen der Fehlermöglichkeiten unterschiedlich beurteilt. HAAS hatte 1945 in Versuchen an Hunden festgestellt, daß das Knochenwachstum durch eine Drahtschlinge, die die Epiphysenfuge umgreift, gebremst werden kann, und daß das Wachstum wieder aufgenommen wird, wenn der Draht entweder entfernt wird oder bricht. Basierend auf diesen Erkenntnissen führte BLOUNT 1949 Epiphysenfugenklammerungen bei Kindern durch. Zur Vermeidung von Komplikationen fordert er eine subtile Operationstechnik.

1. Es sollen drei Klammern auf jeder Seite als eine Einheit eingesetzt werden.

Die Klammern wurden anfänglich hergestellt aus 3 32stel Inch-Stahlstäben von einer Rockwell-Härte zwischen 33 und

35 C, heute werden wegen der geringeren Knochenfremdkörperreaktion Vitalliumklammern verwendet. Wurden nur eine oder zwei Klammern auf jeder Seite eingesetzt, so zeigte es sich, daß die Wachstumskraft der Fuge groß genug ist, um die Klammern aufzusprengen oder zu brechen. Die Fuge folgt dem Alles-oder-Nichts-Gesetz, d. h., der Gegendruck gegen die Wachstumskraft muß groß genug sein, um das Wachstum vollständig bremsen zu können. Die Spangen sollen $\frac{3}{4}$ eines Inches lang sein, die Querbranche femoral $\frac{5}{8}$ und tibial $\frac{7}{8}$ eines Inchs.

2. Die Klammern sollten blind eingesetzt werden, d. h., daß auf eine Freilegung der Wachstumsfuge nach Periostdurchtrennung verzichtet werden sollte. Es muß möglichst so operiert werden, daß die Wachstumsfuge nicht tangiert wird. Liegen die Klammern unterhalb des Periostes, ist die Entfernung nach Beinlängenausgleich insofern schwierig, als die Klammern knöchern überwuchert sind. Das bedeutet, daß bei der Entfernung eine stärkere Traumatisierung der Wachstumsfuge resultiert, so daß es zu einem Phemister-Effekt kommen kann und das noch zu wünschende Wachstum nicht wieder aufgenommen wird.
3. Die Klammern sind streng seitlich einzubringen, um Deformitäten im Sinne eines Genu recurvatum bzw. antecurvatum zu vermeiden. Es sind unter der Operation Röntgenaufnahmen in beiden Ebenen anzufertigen bzw. Bildwandlerkontrollen durchzuführen, um den richtigen Sitz der Klammern zu bestätigen. Sollte eine Klammer nicht richtig liegen, muß sie sofort umgesetzt werden.
4. Die Klammerung sollte nicht vor dem 8. Lebensjahr erfolgen, damit die Klammern genügend Halt in der Epiphyse finden können.

1951 berichtete CHERRY über 11 Kinder mit X-Bein, die durch Klammerung behandelt wurden. Er verwendete nur zwei Klammern auf der Medialseite und hielt diese für ausreichend. Er erhielt eine ausreichende Korrektur nach durchschnittlich 11 Monaten. Auch er forderte, daß die Klammern nicht unter das Periost versenkt werden sollten. Ebenfalls 1951 berichtete THRAP-MEYER über 12 Kinder, die wegen Beinlängendifferenz geklammert wurden. Auch er forderte als Zeitpunkt für die Klammerung mindestens 8jährige Patienten. Nach der Klammerung konnte er keine Komplikation von seiten des Kniegelenks feststellen. 1954 berichteten DALTON und CARPENTER über 72 Klammerungen bei 60 Kindern. Anfänglich wurden die Klammern subperiostal gelegt, später aber nicht mehr unter das Periost, da sie bei dem ersteren Verfahren vollkommen knöchern umbaut waren. An Komplikationen sahen sie das Herausrutschen der Klammern sowie bei alleiniger medialer Klammerung überkorrigierte X-Beine. 1954 berichteten BROCKWAY, CRAIG und COCKRELL über 62 Klammerungen bei 42 Kindern. Sie führten folgende Komplikationen an: Gebrochene Klammern, Herausrutschen der Klammern, vorzeitiger Epiphysenschluß sowie Kniegelenkdeformitäten in allen Ebenen. 1955 führten GREEN und ANDERSEN 200 Operationen wegen Beinlängendifferenz durch, im Vergleich zum Erfolg konnten sie keine wesentlichen Komplikationen anführen. 1956 berichteten MAY und CLEMENTS über entsprechende Komplikationen wie BROCKWAY, CRAIG und COCKRELL, zusätzlich führten sie aber auch noch Infektionen, Frakturen sowie Nervus peroneus-Lähmungen an. Ähnliche unerwünschte Nebenwirkungen wurden 1962 von MAC GIBBON, DEACON und RAISBEC berichtet, die 136 Klammerungen bei 70 Patienten vornahmen. 1968 berichtete POIRIER über 33 Kinder, zusätzlich zu den bislang erwähnten Komplikationen fand er als einziger auch Bänderlockerungen sowohl der Kreuz- als auch Seitenbänder. Er nahm an, daß das Bandwachstum durch Klammerung nicht beeinflusst ist

und somit eine relative Überlänge entsteht. Die angeführten Autoren erkennen aber selbstkritisch, daß die angeführten Komplikationen auf Fehler in der Operationstechnik zurückzuführen sind. Sie anerkennen die Blountsche Klammerung als einen nur kleinen operativen Eingriff, der geeignet ist, Beinlängendifferenzen auszugleichen.

CABALZAR (1978) ist der Ansicht, daß die Klammerung nach Blount nur noch in seltenen speziellen Fällen indiziert ist, da sie mit zu vielen Risikofaktoren und dadurch bedingten Komplikationen verbunden ist. Er nachuntersuchte 87 von 93 Patienten, die zwischen 1955 und 1968 operiert wurden und stellte in etwa 40 % der Fälle schlechte Resultate fest, diese Patienten mußten sich Zweit- oder Dritteingriffen unterziehen.

Diskussion der eigenen Ergebnisse

Wenn auch die Komplikationsrate in der Hand eines erfahrenen Operateurs sicherlich weitgehend vermindert werden kann, so stellt die Blountsche Klammerung doch ein Verfahren dar, das im voraus nicht sicher berechnet werden kann. Folgende Unsicherheitsfaktoren sind zu nennen:

1. Zur Vorausbestimmung der noch zu erwartenden Wachstumspotenz einer Fuge werden die von ANDERSON und GREEN gestellten Tabellen zugrundegelegt, die auf der Bestimmung des Skelettalters durch Röntgenaufnahmen der linken Hand basieren. BLOUNT stellte 1958 fest, daß statistische Tabellen nicht geeignet sind, die Wachstumsbremsung exakt vorauszubestimmen, diese Ansicht wurde 1961 durch GIBBON und DEACON bestätigt, daß die erreichte Korrektur bei 70 Kindern um mehr als 0,6 cm unterhalb der erwähnten Tabelle von GREEN und ANDERSON lag.
2. Die Wachstumsleistung einer geschädigten Fuge kann im voraus nicht bestimmt werden.

Beide Fehlermöglichkeiten spielen aber insofern keine wesentliche Rolle, da durch regelmäßige klinische und Röntgen-Kontrolluntersuchungen der Zeitpunkt festgestellt werden kann, wann die Angleichung von Beinlängendifferenzen stattgefunden hat und somit die Klammern entfernt werden können. Voraus-

setzung ist allerdings, daß der Zeitraum der Klammerung lang genug ist zur Angleichung der Beinlängen.

3. Tritt nach Entfernung der Klammern eine Wachstumsbeschleunigung ein, so daß das Korrekturergebnis gefährdet ist?
4. Wie lange können die Klammern belassen werden, ohne daß ein endgültiger Fugenschluß durch Schädigung durch die Druckkräfte eintritt?

Diese beiden letzten Fragen sind von wesentlicher Bedeutung für die Sicherheit des Blount'schen Verfahrens zum Ausgleich von Beinlängendifferenzen. Als erster nahm HAAS 1945 zu diesen Fragen Stellung. Bei seinen Versuchen an Hunden kam es nach Blount'scher Klammerung an verschiedenen Wachstumsfugen zu einer Wachstumshemmung. Nach der Klammerentfernung stellte er fest, daß die Wachstumsrate nach Klammerentfernung eindeutig zunahm, aber nicht die Wachstumsgeschwindigkeit der normalen Seite erreichte. Er schränkte jedoch ein, daß die aktive Wachstumsperiode des Hundes weniger als 9 Monate beträgt und daß es schwieriger ist, vorzusagen, was beim Menschen gilt, bei dem die Wachstumsperiode einige Jahre andauert. Er empfiehlt daher Experimente an Tieren mit einer längeren Wachstumszeit. Bei einigen seiner Experimente hatte er den Eindruck, daß sich die Fuge der geklammerten Seite vorzeitig schließt. Dies trat gewöhnlich nahe dem Zeitpunkt des normalen Fugenverschlusses ein. HEIKEL (1951) führte an jungen Kaninchen die Phemister-Epiphysiodese an der proximalen Tibiafuge durch und untersuchte den Einfluß dieser Operation auf die distale Tibiafuge. Er stellte fest, daß die Epiphyseodese proximal keinen Einfluß auf das Längenwachstum an der distalen Tibiafuge ausübt. BLOUNT stellte 1952 durch klinische und röntgenologische Messungen nach 117 Klammerungen bei 90 Kindern fest, daß nach der Entfernung der Klammern eine Wachstumsbeschleunigung für einige Monate auftritt. Wegen der Gefahr eines vorzeitigen Fugenschlusses nach Blount'-scher Klammerung empfiehlt er, die Klammern nicht länger als zwei Jahre zu belassen. GOFF (1967) führte histologische Untersuchungen der Wachstumsfugen durch bei

120 Kindern. Er stellte fest, daß der Druck durch die Klammern die Proliferation des epiphysären Knorpels hemmt und die Fuge an Höhe abnimmt. Die Zellen haben aber eine große Widerstandskraft und nehmen ihre Wachstumspotenz auch noch nach etwa 4 Jahren wieder auf. Zwischen 49 Monaten und 94 Monaten zeigten alle Präparate einen totalen Wachstumsstop, das Wachstum wurde nicht wieder aufgenommen. STROBINO und COLONNA umfaßten die proximale Tibiafuge bei Kälbern mit einem Druckapparat, mit dem gleichzeitig die ausgeübten Druck- bzw. Zugkräfte gemessen werden konnte. Sie stellten an der Kälberwachstumsfuge eine Wachstumskraft von 230 kg fest. Die eingebrachte Apparatur bewirkte keine signifikanten Reaktionen auf den Knochen, das Wachstum wurde über 7 Monate bis zum ausgeübten Druck von 140 kg nicht verändert, sondern war gleich schnell wie auf der anderen Seite. Dies entspricht dem Alles-oder-Nichts-Gesetz, daß die Fuge erst dann in ihrer Funktion gestört wird, wenn der Gegendruck die Wachstumskraft übersteigt.

Unsere Versuche wurden an deutschen Landschweinen durchgeführt, es wurde zunächst die proximale Tibiaepiphysenfuge rechts über 6 Wochen geklammert. Es wurden Röntgen-Längenmessungen sowie histomorphometrische Messungen durchgeführt. In Übereinstimmung mit anderen Autoren (HAAS 1945, BLOUNT 1949 und 1952, SIFFERT 1956, GOFF 1967, DALTON und CARPENTER 1954) fanden wir neben der röntgenologisch festgelegten Wachstumsbremsung eine deutliche Höhenminderung der Wachstumsfuge, die bei den histologischen Messungen auf die Hälfte ihrer Höhe zusammengeschrumpft war. Sämtliche Zellschichten waren aber in ihrer regelrechten Anordnung vorhanden, die Zellen durchliefen wie an der normalen Fuge sämtliche Stadien von der Germinativzellschicht bis zur Eröffnungszellschicht. Auffallend war eine Erhöhung der Eröffnungszellzone als Hinweis darauf, daß die Ossifikation metaphysär verlangsamt ist. Dieser Angleichmechanismus ist erforder-

lich, um die Fuge bei Klammerung auch über längere Zeit lebensfähig zu halten.

Nach der Klammerentfernung wurden Röntgen-Längenmessungen nach 3, 6 und 9 Wochen durchgeführt, nach 6 und 9 Wochen wurden auch histologische Präparate angefertigt. In Übereinstimmung mit HAAS 1945, HEIKEL 1951 und im Gegensatz zu BLOUNT 1949 und 52 konnte kein überschießendes Wachstum nach Klammerentfernung festgestellt werden. Röntgenologisch zeigten sich konstante Differenzverhältnisse im rechts/links-Vergleich, wie sie bereits zum Zeitpunkt der Klammerentfernung vorlagen. Die Fuge hatte bereits nach drei Wochen ihre regelrechte Höhe in allen Schichten wieder erreicht und sich der gesunden Seite angeglichen. Histomorphometrische Messungen nach Klammerentfernung sind bislang nicht durchgeführt worden, so daß Vergleichsmöglichkeiten zu anderen Autoren nicht bestehen. Das von BLOUNT (1949) bei Kindern nach Klammerentfernung gefundene und für einige Monate anhaltende überschießende Wachstum konnte im Tierversuch nicht bestätigt werden. GELBKE 1951 und HAAS 1945 hatten festgestellt, daß Zugwirkungen auf die Epiphysenfuge bei Tieren keine Wachstumsstimulierung hervorruft. Auch die Druckentlastung nach Entfernung der Blount'schen Klammer führt nicht zur Wachstumsstimulierung. Die Fuge folgt dem Alles-oder-Nichts-Gesetz, wie von STROBINO und COLONNA (1951) nachgewiesen. Dieses Gesetz besagt, daß die Fuge hohe Druckkräfte ohne Veränderung der Wachstumspotenz toleriert und das Wachstum erst eingeschränkt wird, wenn die Druckkräfte die Vis a tergo überschreiten. Andererseits führt Druckentlastung bzw. Zugspannung nicht zu einem beschleunigten Wachstum (HAAS 1945, GELBKE 1951), bei zu hohen Zugkräften kommt es zum Aufreißen der Wachstumsfuge, zumeist in Höhe der Hypertrophiezellschicht. Auch ein Stimulationseffekt über vermehrte Durchblutung und Anregung der Wachstumskräfte ist zweifelhaft. Das Einbringen unterschiedlicher Materialien fugennahe hat in der Literatur keine oder nur geringfügige Stimulationseffekte gezeigt (HERNDORN, SPENCER 1953; FORD, CANALES 1960; CARPENTER, DALTON 1956;

WILSON, PERCY 1956; JANSEN 1957; LANGENSKIÖLD 1957). Lediglich PEASE 1952 konnte bei Kindern mit Poliomyelitis nach Einbringen verschiedener Materialien fugennahe Wachstumsstimulierungen von 1 cm über 2 Jahre feststellen. Möglicherweise reagiert aber die menschliche Wachstumsfuge auf veränderte Druck- und Durchblutungsverhältnisse empfindlicher als die Tierfuge.

Im Langzeitversuch konnten wir den in der Literatur häufig beschriebenen vorzeitigen Fugenschluß nach Blount'scher Klammerung bestätigen (HAAS 1945, BLOUNT 1949, GOFF 1967). Auf der geklammerten Seite schloß sich die Epiphysenfuge 1 Jahr vor der nicht geklammerten Seite, diese Ergebnisse konnten nur röntgenologisch bestimmt werden, histologische Präparate konnten zum Tötungszeitpunkt der Tiere nicht gewonnen werden, da die Fugen bereits dicht waren. Wie lange die Klammern beim Menschen belassen werden können, ohne daß eine bleibende Fugenschädigung eintritt, läßt sich durch unsere Versuche nicht feststellen.

Zusammenfassung

Die Blount'sche Klammerung zum Ausgleich von Beinlängendifferenzen beim Kind und Jugendlichen stellt einen kleinen orthopädischen Eingriff dar, der bei guter technischer Durchführung durch einen erfahrenen Operateur und unter Beachtung der Kriterien von BLOUNT kaum Komplikationen aufweist. Wenn auch die statistischen Tabellen von ANDERSON und GREEN keine sichere Vorausberechnung erlauben, da die Wachstumspotenz der Fugen des zu kurzen Beines nicht derjenigen am gesunden Bein entspricht, läßt sich doch durch klinische und röntgenologische, regelmäßig durchgeführte Kontrolluntersuchungen der Zeitpunkt exakt bestimmen, wann eine Angleichung der Beinlängen stattgefunden hat. Zwei Fragen lassen das Operationsergebnis aber unsicher erscheinen:

1. Tritt nach der Klammerentfernung ein überschießendes Wachstum auf?
2. Wird durch die langzeitige Klammerung ein vorzeitiger Fugenschluß hervorgerufen?

Diese Fragen sollten durch unsere Untersuchungen geklärt werden.: Bei 18 10 Wochen alten Schweinen wurde eine Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiafuge durchgeführt. 6 Wochen postoperativ wurden 5 Tiere getötet und Röntgen-Längenmessungen sowie histomorphometrische Fugenmessungen durchgeführt. Das Wachstum war diaphysär um 0,41 cm zurückgeblieben, die Gesamtlänge der Tibia war um 0,51 cm reduziert. Die Fuge fand sich um die Hälfte höhengemindert, der Schichtaufbau war aber nicht gestört.

Bei 12 16 Wochen alten Tieren wurden nun die Blount'schen Klammern entfernt und Röntgen-Kontrollaufnahmen nach weiteren 3, 6 und 9 Wochen durchgeführt. Von 5 Tieren wurden nach 6 Wochen Kontrollzeit und von 6 Tieren nach 9 Wochen histomorphometrische Messungen durchgeführt. Es zeigte sich, daß nach der Klammerentfernung keine Wachstumsstimulierung eintrat. Die Längendifferenz-Beträge im rechts/links-Vergleich blieben gegenüber den Ausgangswerten nach 6 Wochen Versuchsdauer konstant, nach 3 Wochen hatte die Epiphysenfuge bereits wieder ihre normale Höhe erreicht und sich in sämtlichen Schichten der nicht operierten linken Kontrollseite angeglichen. Diese Befunde schließen auch ein Mehrwachstum der distalen Tibiaepiphyse rechts aus. Die aufgetretenen Veränderungen müssen operationsbedingt sein, da am Operationstag nach 10 Wochen die rechte zu operierende und die linke Kontrolltibia gleich lang waren.

Im Langzeitversuch erfolgte bei 12 Tieren im Alter von 10 Wochen die Blount'sche Klammerung der rechten proximalen Tibiaepiphysenfuge. Es wurden Röntgenkontrollaufnahmen der Tiere nach 4 Monaten, 6 Monaten und 9 Monaten Versuchsdauer sowie anschließend in Monatsabständen,

jeweils zum Zeitpunkt des Tötens angefertigt. Neben der zunehmenden Verkürzung der geklammerten Seite fand sich ein vorzeitiger Fugenschluß im Rechts-Links-Vergleich, die rechte Fuge war ein Jahr früher röntgenologisch verschlossen als die linke. Um eine Aussage darüber machen zu können, wie lange Klammern beim Kind belassen werden können, ohne daß die Fuge ihre Wachstumspotenz verliert, sind Untersuchungen vonnöten, die eine Aussage darüber gestatten, welche Wachstumsspanne beim Schwein derjenigen beim Kind entsprechend ist.

Literaturverzeichnis

- Anderson, C.E.,
Green, W.T. Growth and predictions of growth in
the lower extremities.
J. B. Jt. Surg. 45-A, 1 - 14 (1963)
- Arkin, A.M.,
Katz, J.F. The effects of pressure on epiphyseal
growth.
J. B. Jt. Surg. 38-A, 5, 1056 - 1076
(1956)
- Baldwin, B.T.,
Busby, L.M.,
Garside, H.V. Anatomic growth of children. A study
of some bones of the hand, wrist and
lower forearm by means of roentgeno-
grams.
Univ. Iowa Std. Child Welf. 4, No. 1,
S. 88 (1928)
- Bargmann, W. Histologische und mikroskopische Ana-
tomie des Menschen.
5. Aufl., Georg Thieme-Verlag, Stutt-
gart (1967)
- Bergmann, E. Der Anteil der einzelnen Wachstumszonen
am Längenwachstum der Knochen.
Dtsch. Z. Chir. Bd. 213, 303 - 313
(1928 - 29)
- Blount, W.P. Short leg problems.
J. B. Jt. Surg. 38-A, No. 947 (1956)
- Blount, W.P.,
Clarke, G. Control of bone growth by epiphyseal
stapling.
J. B. Jt. Surg. 31-A, 464 - 478 (1949)
- Borel, G. Über abnormes Längenwachstum der Kno-
chen (Elongation) infolge venöser Stau-
ung.
Inauguraldissertation Zürich (1922)
- Brookes, M. The blood of supply of bone.
Butterworth, London (1971)
- Brookes, M.,
London, D.N. The juxta - epiphyseal vessels in the
long bones of foetal rats.
J.B. Jt. Surg. Vol. 46-B, No. 2, 336 -
345 (1964)
- Brücke, F. Zur Frage der Bedeutung des Epiphysen-
knorpels für das Wachstum der langen
Röhrenknochen.
Virchow's Archiv, 179, 642 (1931)

- Büchner, H. Die Knochenmessungen für Chirurgie und Orthopädie.
Chirurg 30, 454 - 460 (1959)
- Cameron, D.A.,
Robinson, R.A. Electron microscopy of epiphyseal and articular cartilage matrix in the femur of the new born infant.
J. B. Jt. Surg. 40-A, 163 - 170 (1958)
- Carpenter, E.B.,
Dalton, J.B. A critical evaluation of a method of epiphyseal stimulation.
J. B. Jt. Surg. 38-A, 1089 (1956)
- Castle, M.E. Epiphyseal stimulation.
J. B. Jt. Surg., 53-A, No. 2, 326 - 334 (1972)
- Chalkley, H.W. Method for the quantitative morphology analysis of tissues.
Nat. Canc. Inst. Journ. Vol. 4, 1943 - 1944 (1943)
- Chapchal, G.,
Zeldenrust, J. Experimental research for promoting longitudinal growth of the lower extremities by irritation of the growth region of femur and tibia.
Acta orthop. scand. 17-B, 371 (1948)
- Chapcal, G. Die operative Beeinflussung des Längenwachstums der unteren Extremität.
Med. Wchschrift., 37, 1675 - 1678 (1959)
- Colt, J.D.,
Iger, M. An attempt to stimulate bone growth by creating a venous stenosis.
Angiology 14, 584 - 587 (1963)
- Compere, E.L.,
Adams, C.O. Studies of longitudinal growth of long bones. The influence of trauma to diaphyses.
J. B. Jt. Surg., 19-B, 922 (1937)
- Dickinson, P.H. Venous stasis and bone growth.
Exp. Med. Surg., 11-B, 49 (1953)
- Dixit, P.K. Quantitative histochemistry of cartilage.
Calc. Tiss. Res., 10-B, 49 - 57 (1972)
- Eckert-Möbius, A. Über die Rolle der gefäßhaltigen Knorpelkanäle bei der enchondralen Verknöcherung.
D. med. Wschr. Bd. 50, Heft II, 1798 - 1800

- Elo, J.O. The effect of subperiosteally implanted autogenous whole thickness skin graft on growing bone.
Acta Orthop. Scand., Suppl. 45 (1960)
- Ferguson, A.B. Surgical stimulation of bone by a new procedure.
J. AMA, 100-B, 26 (1933)
- Ford, L.T.,
Canales, G.M. A study of experimental trauma and attempts to stimulate growth of the lower femoral epiphysis in rabbits.
J. B. Jt. Surg., 42-A, 439 (1960)
- Friedenberg, Z.B. Reaction of the epiphysis to partial surgical resection.
J. B. Jt. Surg., 39-A, 332 - 340 (1957)
- Gelbke, H. The influence of pressure and tension on growing bone.
J. B. Jt. Surg., 33-A, (1931)
- Gelbke, H. The influence of pressure and tension on growing bone in experiments with animals.
J. B. Jt. Surg., 33-A, 947 (1951)
- Gelbke, H.,
Ebert, G. Tierexperimentelle Studie an der verletzten Epiphysenfuge.
Z. Orthop. 83, 201 - 219 (1953)
- Goff, C.W. Surgical treatment of unequal extremities.
C. C. Thomas, Springfield (1960)
- Greville, N.R.,
Janes, J.M. An experimental study of overgrowth after fracture.
Surg. Gyn. Obstet., 105-B, 717 (1957)
- Haas, S.L. Retardation of bone growth by a wire loop.
J. B. Jt. Surg., 27-B, 25 (1945)
- Hass, S.L. The localization of the growing point in the epiphyseal cartilage plate of bones.
Am. J. Orthop. Surg., Vol. 15, No. 8, 563 - 586 (1917)
- Haas, S.L. The relation of blood supply to the longitudinal growth of bone.
Am. J. Orthop. Surg., 15-B, 157, 305 (1917)

- Haas, S.L. Mechanical retardation of bone growth.
J. B. Jt. Surg., 30-A, No. 2, 506 - 512 (1948)
- Haas, S.L. Restriction of bone growth by pins through the epiphyseal cartilaginous plate.
J. B. Jt. Surg., 32-A, No. 2, 338 - 343 (1950)
- Haas, S.L. Stimulation of bone growth.
Am. J. Surg., 95-B, 125 (1958)
- Halski, H.,
Zietkiewicz, J. Methoden der Stimulation der Wachstumsfuge - Erfahrungen mit der Operation nach Trueta. Symposium des SFB 88 am 9. 10. 1972, Münster, Syp. Bd. 5 - 22 (1972)
- Ham, A.W., Histology.
Pitman, London; Lippincott, Philadelphia 5 ed. (1965)
- Harris, W. A microscopic method of determining rates of bone growth.
Nature Vol. 188, Dec. 17, 1038 - 1039 (1960)
- Harris, W.,
Martin R. Tile Transplantation of epiphyseal plates.
J. B. Jt. Surg., 47-A, 897 ff. - 914 (1965)
- Harris, W.R. Experimental surgery, hyperemia, hyper-vascularity and limb overgrowth.
Can. J. Surg., Vol. 12, 136 - 143 (1969)
- Heikel, H. On ossification and growth of certain bones of the rabbit, with a comparison of the skeletal age in the rabbit and in man.
Acta orthop. scand., 29/3, 172 - 184 (1959 - 60)
- Heikel, H. Experimental epiphyseal transplantation
Part. I : Roentgenographic observations on survival growth of epiphyseal transplants.
Part II : Histological observations.
Part III: The influence of age.
Orthop. Hosp. Inval. Found Helsingfors (1960)

- Herndon, Ch.,
Spencer, G. An experimental attempt to stimulate linear growth of long bones in rabbits. J. B. Jt. Surg., 35-A, No. 3, 758 - 759 (1953)
- Hért, J. Das Längenwachstum der Röhrenknochen beim Menschen. Das Aktivitätsverhältnis der Epiphysenknorpel. Anat. Anz. 107-B, 2, 399 (1959)
- Hierton, T. Arteriovenous anastomoses and acceleration of bone growth. Acta orthop. scand. 26-B (1957)
- Jani, L. Tierexperimentelle Studie über Tibiaverlängerung durch Distractionsepi-physeolyse. Z. Orthop. 111, 627 - 630 (1973)
- Jansen, K.,
Langenskiöld, A. Inhibition and stimulation of growth. Acta orthop. scan. 26, 296 - 309 (1957)
- Kalayjian, D.B.,
Cooper, R.R. Osteogenesis of the epiphysis. Clin. Orthop. Rel. Res. 85-B, 242 - 256 (1972)
- Kamin, G. et al. Leitz-Classimat. Leitz - Mitt. Wiss. Technik, Sonderheft (1970)
- Kishikawa, E. Studien über einige lokale Reize, welche das Längenwachstum des Langröhrenknochens steigern. Fukuoka Acta Med. (Anstr. Sec.) 29-B, 4 (1936)
- Königswieser, Experimentelle und pathologische Beeinflussung des Epiphysenwachstums. Verh. dtsh. orthop. Ges., 20, 285 (1926)
- Langenbeck, B. Über krankhaftes Längenwachstum der Röhrenknochen und seine Verwertung für die chirurgische Praxis. Berl. Klin. Wschr. 6, 265 (1869)
- Langenskiöld, A. Inhibition and stimulation of growth. Acta Orth. Scand. 26, 308 (1957)
- Levander, G. Über die Behandlung von Brüchen des Oberschenkelchaftes, nebst Beitrag zur Kenntnis des gesteigerten Längenwachstums der Röhrenknochen der unteren Extremitäten nach Bruch derselben. Acta Chir. scand. Suppl. 12 (1929)

- Marti, R.,
Saxer, U.,
Süssenbech, F. Präarthrotische Folgezustände nach Epiphysenfugenverletzungen am distalen Unterschenkel. Z. Orthop. 112, 653 - 656 (1974)
- Matthiass, H.H. Zur Morphologie und Physiologie der Wachstumsfuge. Vortrag Symposium SFB 88, 9. 10. 1972
- Matuschka, Die Aceton-Paraffin-Einbettung. Mikrotom-Nachrichten, Heft 7, 121 - 125 (1967)
Jung, Heidelberg
- Morscher, E.,
Taillard, W. Beilängenunterschiede. S. Karger, Basel (1965)
- Nordentoft, E.L.,
Guldhammer, E.H. Stimulation of the longitudinal growth of the long bones. Acta Orthop. Scand. Suppl. 74
- Ostermann, K. Operative elimination of partial premature epiphyseal closure. An experimental study. A. orth. Scand., Suppl. 147 (1972)
- Otte, P. Über das Wachstum der Gelenkknorpel. Hüthig-Verlag, Heidelberg (1964)
- Otte, P. Neuartige histologische Befunde an normalem und pathologischem Skelettmaterial. (Die Beziehung zwischen Knorpelzelle und Grundsubstanz) Verh. DGOT 41, 270 - 273 (1953)
- Pease, C.N. Local stimulation of growth of long bones. A preliminary report. J. B. St. Surg., 34-A, 1 - 24 (1952)
- Phemister, D. G. Operative arrestment of longitudinal growth of bones in the treatment of deformities. J. B. St. Surg. 15, 1 - 15 (1933)
- Reichelt, A. Das Verhalten der Beinknochen nach Korrekturosteotomie im Wachstumsalter. Z. Orthop. 112, 644 (1974)
- Reinholz, Zur Methodik der Gefrierschnitt-Mikroautoradiographie. Experimenta Suisse 16, 286 (1960)
- Reschke, v. Zur Beeinflussung des X-Beines durch Epiphysenreizung. Z. Chir. 22, 1366 (1928)

- Ring, P.A. Experimental bone lengthening by epiphyseal distribution.
Brit. J. Surg. 46, 169 (1958 b)
- Rodegerdts, U.,
Beckmann, J. Histomorphometrie und Stoffwechsel-
untersuchung nach Transposition der
Wachstumsfuge an der Schweineulna.
Modern Trends of Orthopaedic Surgery.
Acta Facultatis Medica Universitas
Brunensis 52, 229 (1975)
- Rodegerdts, U. Transplantation und epiphysennahe
Doppelosteotomie an der proximalen
Ulnafuge des Schweins.
Symposium d. SFB 88, 1972, Symp. Bd.
31 - 43 (1972)
- Rodegerdts, U. Histomorphometrie und Stoffwechsel-
veränderungen nach Transposition und
Ulnaepiphysenfugen.
Z. Orthop. 112, 721 - 726 (1974)
- Röhlig, H. Lokale Anregung des Extremitäten-
wachstums im Tierexperiment.
Erg. Chir. Orthop. Bd. 52, 81 - 117
(1969)
- Salter, R.,
Harris, R. Injuries involving the epiphyseal plate.
J. B. Jt. Surg., 45-A, 587 - 622 (1963)
- Selye, H.,
Bajusz, E. Effect of denervation on experimentally
induced changes in the growth of bone
and muscle.
Am. J. Physiol. 192, 297 (1958)
- Siffert, R.S. The effect of staples and longitudinal
wires on epiphyseal growth.
J. B. Jt. Surg. 38-A, No. 5, 1077 -
1088 (1956)
- Siffert, R.S. The growth plate and its affections.
J. B. Jt. Surg. 48-A, No. 3, 546 -
563 (1963)
- Silferskiöld, N. Über Längenwachstum der Knochen und
Transplantation von Epiphysenscheiben.
Nord. Med. Tidskrift, Bd. 4, No. 39
(1932)
- Sola, D.K. et al. Stimulation of the longitudinal growth
of long bones by periosteal stripping.
J. B. Jt. Surg., 45-A, 1679 (1963)

- Solomon, L. Diametric growth of the epiphyseal plate.
J. B. Jt. Surg., 48-B, 170 - 177 (1966)
- Sundén, G. Some aspects of longitudinal bone growth. An experimental study of the rabbit tibia.
Acta Orthop. Scand. Suppl. 103 (1967)
- Schäfer, W. Epiphysenbohrung bei Längenwachstumsstörung.
Wien, Med. Wschr. 101, 854 (1951)
- Schneider, D.,
Schwanke, P.,
Schwenke, H.,
Berger, H. Methodische Hinweise zur histologischen Präparation von Knochen- und Knochenmarkbiopsien mit der Paraffintechnik.
Gegenbaurs. morph. Jahrbuch, Leipzig, 118/2, 228 - 233 (1972)
- Schüller, M. Mitteilungen über die künstliche Steigerung des Knochenwachstums beim Menschen.
Berl. Klin. Wschr. 26, 21 (1889)
- Strobino, L.J.,
French, G.O.,
Colonna, P.C. The effect of increasing tensions on the growth of epiphyseal bone.
Surg. Gyn. Obstet. 95/2 (1952)
- Taillard, W. Faut-il corriger toutes les inégalités de longueur des membres inférieurs?
Paris, 52-B, 578 (1963)
- Taillard, W. Die Physiologie der Epiphysenfuge.
Documenta Geigy: Acta rheumatol. No. 21, 35 - 60 (1964)
- Titze, A. Epiphysenwachstumsstörungen durch Extensionsdrähte und -nägeln.
Arch. orthop. Unfallchir., Bd. 49, 392 - 396 (1957)
- Titze, A. Erfahrungen bei der Korrektur jugendlicher Wachstumsstörungen.
Z. Orthop. Bd. 89, 88 - 102 (1958)
- Trueta, J. Stimulation of bone growth by redistribution of the intra-osseous circulation.
J. B. Jt. Surg., 33-B, No. 3, 476 (1951)
- Trueta, J. Influence of blood supply in controlling bone growth.
Bull. Hosp. Joint Dis. (NY) 14, 147 (1953)

- Trueta, J.,
Amato, V.P. The vascular contribution to osteogenesis: Changes in the growth cartilage caused by experimentally induced ischaemia.
J. B. Jt. Surg. 42-B, 571 (1960)
- Trueta, J.,
Morgan, J.D. The vascular contribution to osteogenesis: Studies by the injection method.
J. B. Jt. Surg. 42-B, 97 (1960)
- Trueta, J.,
Trias, A. The vascular contribution to osteogenesis: The effect of pressure upon the epiphyseal cartilage of the rabbit.
J. B. Jt. Surg. 43-B, 800 - 813 (1961)
- Wilson, C.L.,
Percy, E.C. Experimental studies on epiphyseal stimulation.
J. B. Jt. Surg. 38, 1096 - 1104 (1956)
- Yabsley, R.H.,
Harris, W.R. The effect of staff fractures and periosteal stripping on the vascular supply to epiphyseal plates.
J. B. Jt. Surg. 47-A, 551 - 566 (1965)

Nachtrag zum Literaturverzeichnis:

- Bergensfeldt, E. Beiträge zur Kenntnis der traumatischen Epiphysenlösungen an den langen Röhrenknochen der Extremitäten. Acta chir. scand. 73, Suppl. 28 (1933)
- Brockway, A.,
 Craig, W.A.,
 Cockrell, B.R. Endresults of 62 stapling soperations. J. B. Jt. Surg. 36-A, 1063 - 1070 (1954)
- Brodin, H. Longitudinal bone growth, the nutrition of the epiphyseal cartilage and the local blood supply. Acta orthop. scand. 20 (1955)
- Cabalzar, A. Erfahrungen mit der temporären Epiphyseodese nach Blount. Z. Orthop. 116, 255 - 362 (1978)
- Cherry, J.C. Epiphyseal stapling in the control of bone growth. Irish J. Med. 321 - 323 (1951)
- Goff, C.W. Histologic evidence of controls of growth in the femur and tibia by staples. J. B. Jt. Surg. 42-A, 186 (1960)
- Goff, C.W. Histological arrangements grom biopsies of epiphyseal plates of children before and after stapling. Am. J. Orthop. 87 - 89 (1967)
- Green, W.T.,
 Anderson, M. Epiphyseal Arrest for the correction of discrepancies in length of the lower extremities. J. B. Jt. Surg. 39-A, 853 (1957)
- Green, W.T.,
 Anderson, M. Discrepancy in length of the lower extremities. Am. J. Orthop. Surg., International Course Lectures 8, 294 (1951)
- Green, W.T.,
 Anderson, M. The problem of unequal leg length of the lower extremities. Pediat. Clin. N. Amer. (Pediatric Orthopaedics) 1135 - 1155 (1955)

- Hall, M.C. The locomotor system. Functional histology.
Thomas, Springfield (1965)
- Hansson, L.J. Daily growth in length of diaphysis measured by oxytetracycline in rabbit normally and after medullary plugging. Acta Orthop. Scand. 101 (1967)
- Heikel, H.V.A. Has Epiphyseodesis in one end of a long bone a growth stimulating effect on the other hand?
Acta Orthop. Scand. 31, 18 - 23 (1961)
- Hellstadius, A. Investigation, by experiments on animals, of role played by epiphyseal cartilage in longitudinal growth. Acta Chir. Scand. 95, 156 - 166 (1947)
- Hueter, C. Anatomische Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener.
Kirchow's Arch. 25, 575 - 599 (1862)
- Lacroix, P. L'organisation des os.
Liège, Editions Desoer 64 - 70 (1949)
- May, V.R.,
Clements, E.L. Epiphyseal stapling with special reference to complications.
Southern Med. J. 58, 1203 - 1207 (1956)
- Mc Gibbon, U.C.,
Deacon, A.E.,
Raisbec, C.C. Experiences in epiphyseal growth arrest with heavy vitallium staples.
J. B. Jt. Surg. 44-B, 86 - 92 (1962)
- Morscher, E.,
Taillard, W. Beinlängenunterschiede.
S. Karger, Basel (1965)
- Riedinger, J. Arch. Orthop. u. Chir. 1908/09 Bd. VII S. 128
- Roinier, H. Epiphyseal stapling.
J. B. Jt. Surg. 50-B, 61 - 69 (1968)
- Starck, D. Embryologie.
Thieme Verlag, Stuttgart (1975)
- Thrap-Meyer, H. Artificial inhibition of growth.
Norske Laegeforen, 469 - 471 (1951)

Danksagung

Herrn Professor Dr. med. H. H. Matthiaß danke ich herzlichst für die Überlassung des Themas. Bei der Fassung und Ausarbeitung der Dissertation stand er mir stets hilfreich zur Seite.

Herrn Professor Dr. med. U. Rodegerdts, Herrn Dr. Matthiessen und Herrn Dr. Henning danke ich für die Durchführung der Operationen.

Herrn Dipl. Phys. F. Abbink danke ich für die Unterstützung beim statistischen Teil der Arbeit.

Lebenslauf

Am 19. Juli 1944 wurde ich als Sohn des Internisten, Oberregierungsmedizinaldirektor Dr. med. Erwin Schwarz und seiner Ehefrau Margret Schwarz, geb. Ahrens, in Posen geboren.

Nach vierjährigem Besuch der Volksschule in Holzminden besuchte ich, bedingt durch wiederholte dienstliche Wohnungswechsel meines Vaters, die Gymnasien in Holzminden, Bielefeld, Münster und Brakel. Ostern 1965 legte ich dort die Reifeprüfung ab.

Nach zweijähriger Bundeswehrdienstzeit an der Sanitätsakademie München begann ich im Sommersemester 1967 das Studium der Humanmedizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster. Im April 1968 bestand ich das Vorphysikum, im April 1970 das Physikum. 1970 wechselte ich an die Universität Hamburg-Eppendorf, wo ich im April 1974 das Staatsexamen ablegte.

Als Medizinalassistent arbeitete ich vom 1. 5. bis 31. 8. 1974 auf der internistischen Abteilung des Israelitischen Krankenhauses in Hamburg, vom 8. 9. bis 8. 12. 1974 auf der gynäkologischen Abteilung des Allgemeinen Krankenhauses Altona und vom 15. 1. bis 30. 6. 1975 auf der chirurgischen Abteilung des St. Vinzens Hospitales in Brakel. Anschließend erhielt ich die Approbation als Arzt.

Am 1. 8. 1975 begann ich meine Ausbildung auf der chirurgischen Abteilung des St. Josef Hospitales in Bad Driburg, wo ich als Assistenzarzt bis zum 31. 3. 1976 tätig war. Vom 1. 4. 1976 bis 31. 12. 1977 war ich auf der chirurgischen Abteilung des Josef Hospitals in Paderborn beschäftigt, am 1. 1. 1978 wechselte ich zur Orthopädischen Universitätsklinik Münster (Hüfferstiftung), an der ich Ende 1980 meine Facharztausbildung als Orthopäde beendete. Seit September 1978 arbeite ich dort an der vorliegenden Dissertation.

